



(51) Clasificación Internacional de Patentes:
H02M 7/5387 (2007.01) *H02P 27/06* (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2012/070392

(22) Fecha de presentación internacional:
28 de mayo de 2012 (28.05.2012)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P201130963 9 de junio de 2011 (09.06.2011) ES

(71) Solicitantes (para todos los Estados designados salvo US):
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID [ES/ES]; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES).
ALSTOM TECHNOLOGY LTD. [CH/CH]; Brown Boveri Strasse 7, Baden, CH-5400 (CH).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **RAMÍREZ PRIETO, Dionisio** [ES/ES]; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES). **RODRÍGUEZ ARRIBAS, Jaime** [ES/ES]; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES). **CARRERO LÓPEZ, Carmelo** [ES/ES]; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES). **BLANCO AGUADO, Marcos** [ES/ES]; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040

Madrid (ES). **CUESTA GARCÍA, Alfonso** [ES/ES]; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES). **GUILLÉN GUÉDEZ, Guillermo** [VE/ES]; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES). **DÍEZ CASTRO, Ana** [ES/ES]; c/ Ramiro de Maeztu, 7, E-28040 Madrid (ES).

(74) Mandatarios: **CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel** et al.; C/Goya no. 11, E-28001 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AG, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR CONTROLLING AN ELECTRONIC INVERTER AS A NON-LINEAR CURRENT SOURCE

(54) Título : SISTEMA Y PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE UN INVERSOR ELECTRÓNICO COMO FUENTE DE CORRIENTE NO LINEAL

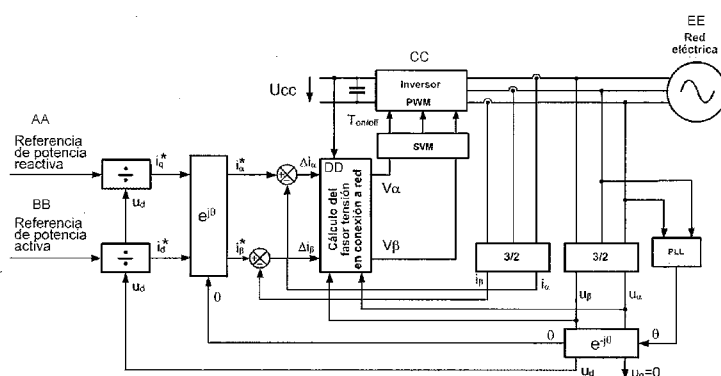


Fig. 10

AA Reactive power reference
BB Active power reference
CC PWM inverter
DD Calculation of the voltage phasor when connected to the network
EE Electrical grid

(57) Abstract: System and method for controlling a three-phase inverter as a non-linear current source, the inverter being connected to a three-phase network or load. The system comprises: means for measuring the voltage U_{cc} in the DC area of the inverter; means for measuring the components (u_a, u_b, u_c) of the voltage of the load; means for measuring the components (i_a, i_b, i_c) of the current of the load; and control means. The control means are used to obtain the spatial phasor U_g (u_a, u_b) of the measured voltage; to obtain the spatial phasor i_g (i_a, i_b) of the measured current; to obtain the increase in current $\Delta i_g = i_g^* - i_g$, i_g^* (i_a^*, i_b^*) being the reference spatial current; to calculate the voltage spatial phasor U_{conv} ($U_{c a}, U_{c b}$) to be applied so that the current i_g progresses towards i_g^* ; and to apply the switching times of the transistors of the inverter by modulating spatial phasors.

(57) Resumen: Sistema y procedimiento

[Continúa en la página siguiente]



IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— antes de la expiración del plazo para modificar las
reivindicaciones y para ser republicada si se reciben
modificaciones (Regla 48.2(h))

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

de control de un inversor trifásico como fuente de corriente no lineal, estando el inversor conectado a carga o red trifásica. El sistema comprende: - medios de medida de la tensión U_{cc} en la zona de corriente continua del inversor; - medios de medida de las componentes (u_a , u_b , u_c) de la tensión de la carga; - medios de medida de las componentes (i_a , i_b , i_c) de la corriente de la carga; - medios de control encargados de: • obtener el fasor espacial $U_g(u_a, u_b)$ de la tensión medida; • obtener el fasor espacial $i_g(i_a, i_b)$ de la corriente medida; • obtener el incremento de corriente $\Delta i_g = i_g^* - i_g$, siendo i^* (i_a^* , i_b^*) la corriente espacial de referencia; • calcular el fasor espacial tensión $U_{cinv}(U_{c_a}, U_{c_b})$ a aplicar para que la corriente i_g evolucione hacia i_g^* ; • aplicar mediante modulación de fasores espaciales los tiempos de conmutación de los transistores del inversor.

Sistema y procedimiento de control de un inversor electrónico como fuente de corriente no lineal

5 Sector de la técnica

La invención se encuadra en el sector técnico de la generación y el transporte de energía eléctrica. Más concretamente, en el control de generadores eléctricos conectados a la red eléctrica.

10 Estado de la técnica

El control de inversores electrónicos es un tema sobre el que existe una amplia literatura técnica.

Desde el punto de vista de la magnitud generada y la magnitud realimentada, las distintas soluciones para efectuar el control de un inversor electrónico se pueden agrupar en cuatro opciones:

- 15 • Generación de tensión con el inversor y realimentación del valor de tensión logrado. Utilizan modulación de ancho de pulso (PWM) y corresponde al caso de una fuente de tensión pura (también denominado inversor en fuente de tensión, controlado en tensión)
- 20 • Generación de tensión pero con realimentación de la corriente generada, tal y como se muestra en la Figura 1. En este caso se pretende generar una corriente y la tensión creada por el inversor toma los valores necesarios para obtenerla. Utiliza modulación PWM y se le denomina fuente de intensidad lineal. Su mayor ventaja es que su implementación en un microprocesador resulta sencilla y no exige un
25 reducido tiempo de muestreo. (también denominado inversor en fuente de tensión, controlado en corriente)
- Generación de corriente y realimentación de la corriente generada, como se muestra en la Figura 2. Se basa en la utilización de bandas de histéresis dentro de las cuales evoluciona la corriente generada por el inversor. En este caso lo más
30 habitual es conmutar los interruptores de corte a conducción y viceversa (técnica conocida como Bang-Bang) para obligar a la corriente a evolucionar hacia determinados valores contenidos dentro de una banda de histéresis, Figura 3. En ocasiones también se emplea con modulación PWM, Figura 4 y Figura 5, para imponer una frecuencia de conmutación constante que facilite el cálculo del filtro y
35 proporcione unas pérdidas por conmutación previsibles.

Se les denomina fuente de corriente no lineal y corresponde al caso de una fuente de corriente pura. Una de las ventajas del sistema no lineal es que construye directamente la forma de onda deseada lo que permite una mayor velocidad de respuesta en la inyección de corriente y potencia que el método lineal. Sin embargo, el tiempo de muestreo empleado por el microprocesador de control debe ser muy alto para evitar que las corrientes de fase evolucionen fuera de los límites de sus bandas de histéresis (también denominado inversor en fuente de intensidad, controlado en corriente)

- Generación de corriente y realimentación de la tensión generada. No tiene aplicaciones prácticas.

El mayor inconveniente de las fuentes de tensión con modulación SVM realimentadas en corriente es que su respuesta transitoria es lenta ya que está afectada por la dinámica de los reguladores P-I que utilizan (Figura 1). En contrapartida, el espectro armónico de la corriente que generan es bueno.

Por otro lado, aunque el resultado de un control no lineal de la corriente es una mayor velocidad de respuesta frente a transitorios, su funcionamiento se basa en un control brusco de la tensión, lo que da lugar a un mayor contenido en armónicos en la forma de onda de la corriente resultante. Efectivamente, debido a que el control no lineal de la tensión aplicada es del tipo "todo o nada", la corriente resultante evoluciona sin un estrecho control.

Descripción de la invención

La presente invención resuelve los problemas anteriores, combinando la generación de una amplia gama de valores de tensión mediante la técnica SVM con el concepto de banda de histéresis que define un funcionamiento no lineal. Como resultado se obtiene una respuesta transitoria muy rápida pero combinada con un mejor espectro armónico en la forma de onda de la corriente.

Debido a que el empleo de la técnica SVM hace posible la generación de una gran gama de fasores espaciales tensión es posible hacer evolucionar el fasor espacial corriente sobre una gran variedad de trayectorias. En consecuencia, la banda espacial de histéresis resultante del procedimiento de la invención es un círculo alrededor del extremo del fasor corriente (Figura 9). Esta banda espacial circular representa una ventaja ya que simplifica la comprobación de si la corriente ha rebasado la banda de histéresis. Para ello basta comparar el valor del módulo del

incremento de corriente generado, independientemente de la dirección del fasor, con el radio del círculo de histéresis permitido.

A diferencia de otras técnicas no lineales que aplican únicamente los ocho posibles valores espaciales de tensión, el sistema de la invención, utiliza la ecuación de la conexión entre el inversor y la red o la carga para determinar, de una manera exacta, el valor de la tensión que se debe generar y es capaz de generarla gracias a que la técnica SVM permite la generación de valores intermedios de tensión.

La presente invención sirve para controlar un inversor electrónico como fuente de intensidad no lineal ya que el sistema aplica fasores espaciales de tensión que obligan al fasor espacial corriente a evolucionar en la dirección deseada dentro de un área espacial de histéresis.

La presente invención describe un sistema y un procedimiento para controlar la corriente que un inversor electrónico inyecta en una red eléctrica trifásica. El sistema realiza un control totalmente en vectores espaciales en lugar de sobre los valores instantáneos de cada corriente de fase por lo que utiliza una única área espacial de histéresis para el vector espacial corriente, en lugar de una banda de valores por cada una de las corrientes.

El sistema de control calcula en cada ciclo el fasor espacial tensión que es necesario aplicar para que el fasor espacial corriente evolucione en la dirección adecuada acorde con la referencia. En el cálculo se emplea el modelo de la conexión a red de un inversor, por lo que esta invención es específica para el control de inversores conectados a la red eléctrica trifásica, aunque es adaptable a otro tipo de cargas trifásicas. Una vez obtenido el fasor tensión en cada ciclo de programa, el sistema de control calcula los tiempos de conmutación de los transistores que componen el inversor mediante la técnica de modulación de fasores espaciales SVM, que le permite aplicar gran variedad de fasores tensión.

El sistema de control de un inversor trifásico como fuente de corriente no lineal objeto de la presente invención, en el que el inversor está conectado a una carga trifásica o a la red eléctrica trifásica, comprende:

- medios de medida de la tensión U_{cc} en la zona de corriente continua del inversor;
- medios de medida de las tres componentes (i_a , i_b , i_c) de la corriente trifásica de la carga o red trifásica;
- medios de control (preferentemente un procesador digital de señal) configurados para, de manera iterativa:

- obtener el fasor espacial $\vec{i}_g$ (i_a, i_β) en coordenadas espaciales fijas de la corriente trifásica medida;
- obtener el incremento de corriente $\Delta\vec{i}_g = \vec{i}_g^* - \vec{i}_g$, siendo $\vec{i}_g^*$ (i_a^*, i_β^*) la corriente espacial de referencia en coordenadas espaciales fijas;
- 5 • calcular, a partir de $\Delta\vec{i}_g$, U_{cc} y de la ecuación en fasores espaciales que describe la conexión del inversor con la carga o red trifásica, el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ ($U_{ca}, U_{c\beta}$) en coordenadas espaciales fijas a aplicar por el inversor para que la corriente en la carga o red trifásica $\vec{i}_g$ evolucione hacia la corriente de referencia $\vec{i}_g^*$;
- 10 • calcular y aplicar, a partir del fasor espacial tensión obtenido $\vec{U}_{conv}$ ($U_{ca}, U_{c\beta}$) y mediante la técnica de modulación de fasores espaciales, los tiempos de conmutación de los transistores del inversor.

En una realización preferente los medios de control están configurados para
 15 realizar el cálculo del fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$, y realizar la correspondiente conmutación de los transistores del inversor, sólo si se cumple $|\Delta\vec{i}_g| > \varepsilon$, siendo ε un valor predeterminado que define un área espacial de histéresis para el valor del módulo del fasor espacial $\Delta\vec{i}_g$.

20 El sistema puede adicionalmente comprender, para el caso de conexión a red trifásica y para ciertas cargas trifásicas, medios de medida de las tres componentes (u_a, u_b, u_c) de la tensión trifásica de la carga o red trifásica, estando los medios de control configurados para obtener el fasor espacial $\vec{U}_g$ (u_a, u_β) en coordenadas espaciales fijas de la tensión trifásica medida y calcular el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$
 25 también en función de $\vec{U}_g$.

En el caso de que el inversor esté conectado a la red eléctrica trifásica, los medios de control pueden obtener el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ ($U_{ca}, U_{c\beta}$) según la siguiente ecuación en fasores espaciales que describe la conexión a red del inversor:

$$\vec{U}_{conv} = L \cdot \frac{d\vec{i}_g}{dt} + \vec{U}_g$$

, siendo L el valor de la inductancia del filtro de conexión a red.

Para el cálculo del fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv} (U_{c\alpha}, U_{c\beta})$ los medios de control pueden obtener los puntos de corte de la recta coincidente en dirección con $\Delta\vec{i}_g$ y que pasa por el fasor $\vec{U}_g$ con la circunferencia de radio $R = \sqrt{3}/2 \cdot U_{cc}$ que determina los fasores espaciales tensión que es posible generar con el inversor. El fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv} (U_{c\alpha}, U_{c\beta})$ es aquel punto de corte en el que se cumple $(U_{c\alpha} - u_{\alpha}) \cdot C > 0$, siendo $C = i_{\alpha}^* - i_{\alpha}$.

Es objeto también de la presente invención un procedimiento de control de un inversor trifásico como fuente de corriente no lineal, estando dicho inversor conectado a una carga trifásica o a la red eléctrica trifásica. El procedimiento comprende realizar de manera iterativa las siguientes etapas:

- medir la tensión Ucc en la zona de corriente continua del inversor;
- medir las tres componentes (i_a, i_b, i_c) de la corriente trifásica de la carga o red trifásica;
- obtener el fasor espacial $\vec{i}_g (i_{\alpha}, i_{\beta})$ en coordenadas espaciales fijas de dicha corriente trifásica medida;
- obtener el incremento de corriente $\Delta\vec{i}_g = \vec{i}_g^* - \vec{i}_g$, siendo $\vec{i}_g^* (i_{\alpha}^*, i_{\beta}^*)$ la corriente espacial de referencia en coordenadas espaciales fijas;
- calcular, a partir de $\Delta\vec{i}_g, \vec{U}_g, U_{cc}$ y de la ecuación en fasores espaciales que describe la conexión del inversor con la carga o red trifásica, el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv} (U_{c\alpha}, U_{c\beta})$ en coordenadas espaciales fijas a aplicar por el inversor para que la corriente en la carga o red trifásica $\vec{i}_g$ evolucione hacia la corriente de referencia $\vec{i}_g^*$;
- calcular y aplicar, a partir del fasor espacial tensión obtenido $\vec{U}_{conv} (U_{c\alpha}, U_{c\beta})$ y mediante la técnica de modulación de fasores espaciales, los tiempos de conmutación de los transistores del inversor.

En una realización preferida el cálculo del fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ sólo se realiza si se cumple $|\Delta\vec{i}_g| > \varepsilon$, siendo ε un valor predeterminado que define un área espacial de histéresis para el valor del módulo del fasor espacial $\Delta\vec{i}_g$.

- El procedimiento de puede comprender adicionalmente, para el caso de conexión a red trifásica y para ciertas cargas trifásicas, medir las tres componentes (u_a , u_b , u_c) de la tensión trifásica de la carga o red trifásica y obtener el fasor espacial $\vec{U}_g$ (u_α , u_β) en coordenadas espaciales fijas de dicha tensión trifásica medida. El fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ se calcula en este también en función de $\vec{U}_g$.

Breve descripción de las figuras

- Para la mejor comprensión de lo descrito en esta memoria, se incluyen unas figuras en las que se representan, exclusivamente a modo de ejemplos ilustrativos y sin carácter limitativo, algunas realizaciones posibles de la invención.

La Figura 1 muestra, según el estado del arte, el esquema de control de un inversor conectado a red controlado como fuente de corriente lineal.

La Figura 2 muestra, según el estado del arte, el esquema de control de un inversor conectado a red controlado como fuente de corriente no lineal o Bang-Bang.

- La Figura 3 muestra, según el estado del arte, la evolución de una corriente cuasisenoidal dentro de una banda de histéresis establecida alrededor de una referencia de corriente.

- La Figura 4 muestra, según el estado del arte, el esquema de control de un inversor conectado a red controlado como fuente de corriente no lineal con modulación PWM.

La Figura 5 muestra en detalle el procedimiento de cálculo empleado en cada fase de la Figura 4.

La Figura 6 muestra el fasor espacial corriente, i_g , en un instante dado y el fasor espacial referencia de corriente, i_g^* .

- La Figura 7 muestra el esquema eléctrico de la conexión a red de un inversor controlado como fuente de corriente.

La Figura 8 muestra en un instante cualquiera la posición de los distintos fasores espaciales.

- La Figura 9 muestra el nuevo concepto de área espacial de histéresis expresado como una región circular del espacio alrededor del extremo del fasor espacial.

La Figura 10 muestra el esquema de control de un inversor conectado a red controlado como fuente de corriente mediante el procedimiento de la invención.

La Figura 11 representa los fasores espaciales y los puntos característicos utilizados en la determinación de la ecuación de la recta.

La Figura 12 representa los fasores espaciales y los puntos característicos utilizados en la determinación de los puntos de intersección de la recta que establece la pendiente deseada para la corriente.

En la Figura 13 se muestran los resultados experimentales para el fasor espacial corriente de referencia $\vec{i}_g^*$ y el fasor espacial corriente $\vec{i}_g$ obtenido.

La Figura 14 muestra el esquema eléctrico de la conexión de un inversor a un motor, controlado como fuente de corriente.

La Figura 15 muestra el esquema de control de un motor utilizando un inversor controlado como fuente de corriente mediante el procedimiento de la invención.

La Figura 16 muestra en un instante cualquiera la posición de los distintos fasores espaciales para el caso de conectar la fuente de intensidad a un motor de inducción trifásico de jaula.

La Figura 17 muestra, sobre un diagrama polar y para el caso de la Figura 16, la corriente del estator expresada por sus componentes respecto del sistema de referencia estático, así como la trayectoria de referencia.

Descripción detallada de la invención

La Figura 1 muestra, de acuerdo al estado del arte, el esquema de control de un inversor conectado a red controlado como fuente de corriente lineal. Como se aprecia en la Figura 1, las referencias que se generan para controlar el inversor mediante modulación PWM tienen dimensiones de tensión (u_{as}^* , u_{bs}^* , u_{cs}^*), a pesar de que las variables que se realimentan son corrientes (i_{sd} , i_{sq}). Con el sistema de control sincronizado con la red mediante un PLL y con una red eléctrica no perturbada, U_d es constante y la potencia activa es proporcional a i_d y la potencia reactiva a i_q .

La Figura 2 muestra, de acuerdo al estado del arte, el esquema de control de un inversor conectado a red controlado como fuente de corriente no lineal o Bang-Bang. Como se aprecia en la Figura 2 las referencias que se generan para controlar el inversor mediante bandas de histéresis tienen dimensiones de corriente (i_a^* , i_b^* , i_c^*), y las variables que se realimentan son también corrientes (i_d , i_q).

La Figura 3 muestra, de acuerdo al estado del arte, la evolución de una corriente cuasisenoidal dentro de una banda de histéresis establecida alrededor de una referencia de corriente. Se indica en la figura los intervalos de activación (on) y bloqueo (off) de los transistores de una rama del inversor que la controla. Cuando el

transistor de la columna A del inversor se activa, TA- (on), la corriente reduce su valor hasta que el sistema de control detecta que su valor llega al límite inferior de la banda de histéresis, y entonces activa el transistor complementario de la misma columna A, TA+ (on), provocando que la corriente se incremente. El proceso se repite
5 cíclicamente activando y bloqueando los transistores de la misma columna de forma complementaria.

La **Figura 4** muestra, de acuerdo al estado del arte, el esquema de control de un inversor conectado a red controlado como fuente de corriente no lineal con modulación PWM. Como se aprecia en la Figura 4 las referencias que se generan para
10 controlar el inversor tienen dimensiones de corriente (i_{as}^* , i_{bs}^* , i_{cs}^*), y las variables que se realimentan son también corrientes (i_{sd} , i_{sq}).

La **Figura 5** muestra en detalle, de acuerdo al estado del arte, el procedimiento de cálculo empleado en cada fase de la Figura 4. Se observa el empleo de reguladores Proporcional-Integral (P-I).

15 Como es conocido, el conjunto de las tres magnitudes de un sistema trifásico, ya sean corrientes o tensiones, pueden representarse de forma conjunta por un vector espacial. Este vector espacial se calcula en cada ciclo de muestreo del microprocesador de control con las medidas de las tres corrientes o tensiones y la aplicación de las transformaciones matemáticas de Clarke y de Park. Su gran ventaja
20 es que permite monitorizar o controlar el sistema trifásico mediante una única variable que se denomina vector o fasor espacial.

Los vectores o fasores espaciales, a diferencia de la representación de fasores de Fresnel empleada en el estudio de circuitos en régimen de corriente alterna senoidal (tensiones, corrientes), representan magnitudes que tienen físicamente
25 orientación en el espacio, como son la fuerza magnetomotriz, el flujo magnético, la densidad de corriente en los devanados un motor de c.a., etc. Extendiendo la definición de fasor espacial a las magnitudes eléctricas tensión y corriente de un sistema trifásico, se obtiene su correspondiente representación abstracta como fasor espacial.

30 La presente invención aprovecha la ventaja que aportan los fasores espaciales en cuanto a que simplifican en una única variable otras tres variables eléctricas, para realizar el control no lineal de una fuente de intensidad de una forma novedosa. De este modo, en lugar de regular por separado cada una de las corrientes de fase, se controla el vector espacial que las representa a las tres conjuntamente.

Mientras que habitualmente las fuentes de corriente trifásicas no lineales controlan por separado cada una de las corrientes de fase utilizando para cada una de ellas su propia banda de histéresis, en la invención se han agrupado en un nuevo concepto de área espacial de histéresis que, por representar realmente una región del espacio, denominamos área espacial de histéresis. Esta área espacial constituye una región del espacio alrededor del extremo del fasor espacial, 360° alrededor de él, involucrando magnitud y ángulo del fasor espacial (Figura 9), a diferencia de las bandas de histéresis habituales de corriente, que sólo representan valores instantáneos.

Así, dada una corriente espacial de referencia $\vec{i}_g^*$, y una corriente real $\vec{i}_g$, para reducir el error entre ambas, la corriente debe evolucionar, durante el siguiente ciclo de programa de control, en la dirección y sentido dado por el fasor espacial $\Delta\vec{i}_g = \vec{i}_g^* - \vec{i}_g$. La Figura 6 muestra el fasor espacial corriente, i_g , en un instante dado y el fasor espacial referencia de corriente, i_g^* . La diferencia fasorial proporciona el incremento de corriente, $\Delta\vec{i}_g$, que debe generarse con el inversor para seguir a la referencia. Análogamente a la técnica Bang-Bang, pero con fasores espaciales, el inversor tiene que generar la tensión necesaria para que la corriente evolucione hacia el fasor deseado (referencia), dentro de un área espacial de histéresis. Sin embargo, a diferencia del método Bang-Bang, el de la presente invención no genera valores discretos de tensión, on-off, para incrementar o reducir la corriente en cada fase (Figura 3), sino que aprovecha la técnica de Modulación de Fasores Espaciales (*Space Vector Modulation*, SVM). En efecto, un inversor sin modulación sólo puede generar seis fasores espaciales diferentes y otro nulo. Pero si se utiliza la técnica SVM, el número de fasores espaciales intermedios generables es muy elevado, dependiendo de la resolución del hardware específico en el que se implementa el SVM, típicamente 1000-2000 diferentes, lo que permite ir generando, ciclo a ciclo, un fasor espacial tensión giratorio de forma prácticamente continua (esto no se logra con modulación PWM).

Por tanto tiene sentido calcular, no ya las seis trayectorias posibles que podría generar un inversor tipo Bang-Bang, sino el fasor espacial tensión que generará la trayectoria más conveniente para reducir el error y generarlo con la técnica SVM.

Como novedad, ahora que cobra sentido calcular el fasor espacial tensión que debe y puede aplicarse, el sistema se sirve de la ecuación eléctrica de la conexión entre el inversor y la carga o la red para calcularlo. Es, por tanto, un método que se

debe particularizar para cada tipo de carga al que se conecte el inversor.

La **Figura 7** muestra el esquema eléctrico de la conexión a red de un inversor controlado como fuente de corriente. Se muestra el circuito eléctrico de conexión de la fuente de corriente y la red, a partir de cual se obtiene la ecuación particular para el cálculo del fasor tensión del inversor. Para la conexión a red de la Figura 7, las componentes del fasor espacial $\vec{\Delta i_g}$ proporcionan la variación de corriente, $\frac{d\vec{i_g}}{dt}$, que se desea imponer durante el ciclo del programa de control siguiente. Para un valor conocido de la inductancia del filtro de conexión a red, L , también $L \cdot \frac{d\vec{i_g}}{dt}$ es conocida y la tensión de la red, $\vec{U_g}$, se mide en cada ciclo por el sistema de control. Por tanto, el microprocesador de control calcula el fasor espacial tensión, $\vec{U}_{conv}$, que es necesario aplicar con el convertidor electrónico para que la corriente en la red evolucione hacia la corriente de referencia, a partir de la ecuación en fasores espaciales que describe la conexión a red del inversor:

$$\vec{U}_{conv} = L \cdot \frac{d\vec{i_g}}{dt} + \vec{U_g}$$

En la **Figura 8** se muestra gráficamente la posición de estos fasores espaciales en un instante cualquiera.

Para facilitar el cálculo de $\vec{U}_{conv}$, el microprocesador pueden calcular los puntos de intersección de la recta de pendiente $\frac{d\vec{i_g}}{dt}$ con la circunferencia de radio

$R = \sqrt{3}/2 \cdot U_{cc}$ determinada por los fasores espaciales tensión que es posible generar con el inversor electrónico (Figura 8). Obsérvese que de los dos puntos de intersección obtenidos, solo uno es el que aportará el resultado deseado.

La **Figura 9** muestra el concepto de área espacial de histéresis como una nueva región circular de espacio alrededor del extremo del fasor espacial. La Figura 9 describe tres casos. En el primero, el fasor espacial se encuentra fuera del área espacial de histéresis por lo que es necesario aplicar un fasor espacial tensión que acerque a la corriente hacia la referencia. Los dos casos restantes muestran al fasor espacial corriente cerca de la referencia y dentro del área espacial de histéresis, por lo

que no es necesario corregir el fasor espacial tensión actual, aunque sí debe conmutarse para mantener la frecuencia de conmutación constante.

Por tanto, para reducir el número de conmutaciones puede establecerse un margen de error admisible, o área espacial de histéresis, para el valor del módulo del fasor espacial $\Delta \vec{i}_g$ (Figura 9). De esta forma, si el módulo se encuentra dentro de un área del espacio correspondiente a una circunferencia de radio ϵ , no sería necesario cambiar el valor de $\vec{U}_{conv}$ aunque sí se generará un pulso PWM para mantener constante la frecuencia de conmutación.

El procedimiento desarrollado resulta además especialmente adecuado para su utilización en el control una fuente de corriente trifásica desequilibrada porque emplea únicamente dos áreas de histéresis (una para la secuencia directa y otra para la secuencia inversa) en lugar de lo habitual en un control no lineal, que serían seis (tres para las corrientes de secuencia directa y tres para las de secuencia inversa). Además, a pesar de su característica no lineal, presenta frecuencia de conmutación constante lo que facilita el cálculo del filtro.

En su realización preferida mostrada en la **Figura 10**, el sistema de la invención utiliza el esquema de control de un inversor trifásico a base de transistores IGBT conectado a red controlado como fuente de corriente. Consta de medios de medida de las tres corrientes de fase y las tres tensiones de línea, así como medios de medida de la tensión en la zona de c.c. del inversor (U_{cc}). Además existe un sistema de sincronización con la red *Phase Locked Loop* (PLL) que determina en cada ciclo la posición espacial del fasor tensión de red. También, dispone de un bloque que transforma los resultados del cálculo del fasor tensión del inversor en pulsos de duración variable en los terminales de control de los IGBT mediante el conocido algoritmo *Space Vector Modulator* (SVM). El programa de control se implementa preferentemente en un procesador digital de señales (DSP).

En su realización preferida, el sistema de la invención calcula el fasor espacial tensión que debe aplicar el inversor $\vec{U}_{conv} = U_{c\alpha} + j \cdot U_{c\beta}$, mediante el procedimiento descrito a continuación y representado en las **Figuras 11 y 12**. A partir de los valores de referencia de la corriente en coordenadas espaciales fijas, $\vec{i}_g^* = i_\alpha^* + j \cdot i_\beta^*$, y del valor espacial de la corriente actual, $\vec{i}_g = i_\alpha + j \cdot i_\beta$, también en coordenadas fijas, se calcula el fasor espacial incremento de intensidad deseado, $\Delta \vec{i}_g = C + j \cdot D$:

12

$$C = i_{\alpha}^* - i_{\alpha}$$

$$D = i_{\beta}^* - i_{\beta}$$

5 A continuación se comprueba si el incremento se sale del área espacial de histéresis, independientemente de su orientación en el espacio (Figura 9).

$$\sqrt{C^2 + D^2} > \varepsilon$$

10 Si el incremento es mayor, hay que actuar recalculando el fasor tensión a aplicar $\vec{U}_{conv}$. Para ello se obtienen los puntos de corte de la recta coincidente en dirección con $\Delta \vec{i}_g = C + j \cdot D$ y la circunferencia definida por todos los vectores espaciales tensión que es capaz de generar el inversor.

La ecuación de la recta es del tipo:

15

$$y = d \cdot x + q$$

En primer lugar se calcula la pendiente de la recta utilizando el incremento de corriente deseada:

20

$$d = \frac{D}{C}$$

A continuación, utilizando esta pendiente y la circunferencia descrita por el fasor espacial tensión de red, $\vec{U}_{red} = U_{ra} + j \cdot U_{r\beta}$, se obtiene el punto de corte de la recta con el eje de ordenadas, punto q de la **Figura 11**:

25

$$q = U_{r\beta} - U_{ra} \cdot d$$

En este punto ya está determinada la ecuación de la recta superpuesta a $\Delta \vec{i}_g$:

$$y = \frac{D}{C} \cdot x + (U_{r\beta} - U_{ra} \cdot d)$$

La ecuación de la circunferencia descrita por el fasor espacial tensión del convertidor es del tipo:

$$x^2 + y^2 = R^2$$

- 5 Utilizando geometría analítica, se calcula una cualquiera de las dos posibles soluciones para la intersección de la recta y la circunferencia definida por el fasor tensión del inversor, **Figura 12**:

$$U_{c\alpha 1} = \frac{-2 \cdot d \cdot q + \sqrt{(2 \cdot d \cdot q)^2 - 4 \cdot (1 + d^2) \cdot (q^2 - R^2)}}{2 \cdot (1 + d^2)}$$

- 10 donde:

d: pendiente de la recta.

q: punto de corte de la recta con el eje de ordenadas.

R: radio de la circunferencia definida por los vectores espaciales que es capaz de generar el inversor. Su valor es $R=0,866 \cdot U_{cc}$.

- 15 U_{cc} : tensión en el bus de c.c. en el inversor.

$U_{c\alpha 1}$: coordenada horizontal del fasor espacial tensión correspondiente a una de las dos posibles soluciones para los puntos de intersección entre la recta superpuesta $\Delta \vec{i}_g$ y la circunferencia de radio R.

- 20 La Figura 12 representa, por tanto, los fasores espaciales y los puntos característicos utilizados en la determinación de los puntos de intersección de la recta que establece la pendiente deseada para la corriente, con la circunferencia definida por todas las posibles ubicaciones del fasor espacial tensión del inversor.

Comprobando el signo de $(U_{c\alpha 1} - U_{r\alpha}) \cdot C$ se comprueba, con la solución obtenida, si el fasor espacial tensión tiene el mismo sentido que la di_g/dt deseada,

- 25 $(U_{c\alpha 1} - U_{r\alpha}) \cdot C > 0$, o el contrario, $(U_{c\alpha 1} - U_{r\alpha}) \cdot C < 0$.

Si con la solución $U_{c\alpha 1}$ resulta un fasor espacial tensión del mismo sentido que el incremento de intensidad, $\Delta \vec{i}_g$, se toma ésta como la solución correcta. En caso contrario hay que calcular la otra posible solución para la intersección, $U_{c\alpha 2}$:

$$U_{c\alpha 2} = \frac{-2 \cdot d \cdot q - \sqrt{(2 \cdot d \cdot q)^2 - 4 \cdot (1 + d^2) \cdot (q^2 - R^2)}}{2 \cdot (1 + d^2)}$$

Finalmente, la coordenada vertical del fasor espacial tensión que debe generarse con el inversor se calcula como:

$$U_{c\beta} = d \cdot U_{c\alpha} + q$$

Donde $U_{c\alpha}$ es la solución correcta entre $U_{c\alpha 1}$ y $U_{c\alpha 2}$.

El fasor espacial tensión obtenido, $\vec{U}_{conv} = U_{c\alpha} + j \cdot U_{c\beta}$, se transforma en tiempos de conmutación de los transistores IGBT del inversor mediante la conocida técnica de Modulador de Vectores Espaciales (Space Vector Modulator (SVM)).

En la **Figura 13** se muestran los resultados experimentales para el fasor espacial corriente de referencia $\vec{i}_g^*$ definida por sus componentes α, β , (con referencia estacionaria) y el fasor espacial corriente $\vec{i}_g$ obtenido, expresado igualmente en componentes α, β .

Debido a que emplea modulación SVM, el procedimiento de la presente invención está específicamente diseñado para utilizarse con un inversor trifásico de seis interruptores (IGBT) y sus diodos en antiparalelo.

A continuación se expone cómo se aplicaría el procedimiento para el caso de conectar la fuente de intensidad objeto de la invención a un motor de inducción trifásico de jaula, cuya conexión es mostrada de manera esquemática en la **Figura 14** y el esquema de control es representado en la **Figura 15**. Se parte de la ecuación del estator de la máquina de inducción expresada en fasores espaciales:

$$\vec{U}_{s,D} = R_s \cdot \vec{I}_{s,D} + L \cdot \frac{d\vec{I}_{sm,D}}{dt}$$

Como el fasor $\vec{I}_{sm,D}$ puede expresarse en función de los fasores corriente del estator $\vec{I}_{s,D}$ y la corriente de magnetización del rotor $\vec{I}_{rm,D}$, teniendo en cuenta las siguientes relaciones:

$$L \cdot \vec{I}_{sm} = L_s \cdot \vec{I}_s + L_r \cdot \vec{I}_r$$

$$L \cdot \vec{I}_{rm} = L_s \cdot \vec{I}_s + L_r \cdot \vec{I}_r$$

se obtiene:

$$\bar{U}_{s,D} = R_s \cdot \bar{I}_{s,D} + L_s \cdot \frac{d\bar{I}_{s,D}}{dt} + L \cdot \frac{d\bar{I}'_{r,D}}{dt} = R_s \cdot \bar{I}_{s,D} + \left(L_s - \frac{L^2}{L_r} \right) \cdot \frac{d\bar{I}_{s,D}}{dt} + \frac{L^2}{L_r} \cdot \frac{d\bar{I}_{rm,D}}{dt}$$

- 5 Por otro lado, la ecuación de tensiones para el rotor, referida al sistema de referencia rotativo (eje d) es:

$$0 = \bar{U}'_{r,d} = R'_r \cdot \bar{I}'_{r,d} + L \cdot \frac{d\bar{I}_{rm,d}}{dt}$$

- 10 que expresado en coordenadas de estator (eje D) es:

$$\frac{d\bar{I}_{rm,D}}{dt} = -\frac{R'_r}{L} \bar{I}'_{r,D} + j \cdot \Omega_{d,D} \cdot \bar{I}_{rm,D}$$

- 15 donde $\Omega_{d,D}$ es la velocidad del eje d (rotor) respecto del eje D (estator), o lo que es lo mismo, la velocidad de giro de la máquina.

Finalmente, operando se obtiene:

$$\bar{U}_{s,D} = \left(R_s + \frac{L^2}{L_r^2} R'_r \right) \bar{I}_{s,D} + \left(L_s - \frac{L^2}{L_r} \right) \frac{d\bar{I}_{s,D}}{dt} - \frac{L^2}{L_r^2} R'_r \left(1 - j \cdot \Omega_{d,D} \cdot \frac{L_r}{R'_r} \right) \bar{I}_{rm,D}$$

20

Esta ecuación determina la relación entre el fasor tensión en el estator $\bar{U}_{s,D}$ utilizado para alimentar al motor y los dos vectores corrientes de estator, $I_{s,D}$, y de magnetización de rotor, $I_{rm,D}$, referidos al sistema de referencia estático.

- 25 La expresión anterior puede reordenarse:

$$\bar{U}_{s,D} - \left(L_s - \frac{L^2}{L_r} \right) \frac{d\bar{I}_{s,D}}{dt} = \left(R_s + \frac{L^2}{L_r^2} R'_r \right) \bar{I}_{s,D} - \frac{L^2}{L_r^2} R'_r \bar{I}_{rm,D} + j \cdot \Omega_{d,D} \cdot \frac{L^2}{L_r} \bar{I}_{rm,D}$$

donde todos los parámetros y valores son conocidos y el valor de $\bar{I}_{rm}$ es conocido ya que se necesita en el propio sistema de control vectorial del motor y, en cualquier caso, siempre puede obtenerse de la ecuación del rotor:

$$T_r \frac{dI_{rm}}{dt} + I_{rm} = I_{sd}$$

$$\Omega_{rm,d} T_r I_{rm} = I_{sq}$$

donde I_{sd} y I_{sq} son las componentes del fasor $\bar{I}_s$ en los ejes d-q, estando el sistema de referencia d-q definido por la posición del fasor $\bar{I}_{rm}$.

- El ángulo formado entre el fasor $\bar{I}_{rm}$ y la referencia estática (eje D), $\phi_{rm,D}$, se calcula integrando la velocidad referida al estator, $\Omega_{rm,D}$:

$$\phi_{rm,D} = \int \Omega_{rm,D} dt$$

$$\Omega_{rm,D} = \Omega_{rm,d} + \Omega_{d,D}$$

- donde $\Omega_{d,D}$ es la velocidad eléctrica del rotor (d) respecto del estator (D) y $\Omega_{rm,d}$ la velocidad del fasor $\bar{I}_{rm}$ respecto del rotor (d).

En la ecuación del estator de la máquina, agrupando términos en un número complejo $A+j.B$:

$$\bar{U}_{s,D} - \left(L_s - \frac{L^2}{L_r} \right) \frac{d\bar{I}_{s,D}}{dt} = A + j.B$$

donde

$$A + j.B = C_1 \bar{I}_{s,D} - C_2 \bar{I}_{rm,D} + j.C_3 \bar{I}_{rm,D}$$

Una vez que se ha calculado el fasor, puede representarse como en la Figura 16, donde aparecen representados los términos C_1 , C_2 , C_3 :

Por otro lado, el error entre $\bar{I}_s^*$ y $\bar{I}_s$ (vectores de referencia y real respectivamente) determina la pendiente α deseada para la corriente que ha de generar el inversor:

$$\left(\bar{I}_s^* - \bar{I}_s \right) = \left(I_{sa}^* - I_{sa} \right) + j \left(I_{sb}^* - I_{sb} \right) = C + jD$$

$$\alpha = a \tan \left(\frac{D}{C} \right)$$

En la **Figura 16** se muestra la posición en un instante cualquiera de cada término C_1 , C_2 , C_3 y el vector resultante $\bar{U}_s$, así como la evolución deseada para la corriente del estator, $\bar{I}_s$, que está determinada por el fasor diferencia ($\bar{I}_s^* - \bar{I}_s$). Este valor es también el de la derivada de la corriente del estator $d\bar{I}_s/dt$ para el siguiente ciclo.

Por encima y con esta pendiente aparece una línea que pasa por el punto ($A + jB$), calculado por el microprocesador a partir de su correspondiente ecuación. La intersección entre la recta y la circunferencia determina el fasor $\bar{U}_s$ que es necesario aplicar con el modulador de vectores espaciales, SVM.

De forma análoga al caso de la fuente de corriente en conexión a red, en el de conexión a un motor de inducción, el microprocesador debe calcular los dos posibles puntos de intersección recta-circunferencia (dos posibles soluciones matemáticas) y determinar cuál de ellos determina el correcto vector tensión a aplicar al estator.

La **Figura 17** muestra, sobre un diagrama polar, la corriente del estator expresada por sus componentes respecto del sistema de referencia estático, así como la trayectoria de referencia.

REIVINDICACIONES

1.- Sistema de control de un inversor trifásico como fuente de corriente no lineal, estando dicho inversor conectado a una carga trifásica o a la red eléctrica trifásica, **caracterizado por que** comprende:

- medios de medida de la tensión U_{cc} en la zona de corriente continua del inversor;
- medios de medida de las tres componentes (i_a , i_b , i_c) de la corriente trifásica de la carga o red trifásica;
- medios de control configurados para, de manera iterativa:
 - obtener el fasor espacial $\vec{i}_g$ (i_a , i_β) en coordenadas espaciales fijas de la corriente trifásica medida;
 - obtener el incremento de corriente $\Delta\vec{i}_g = \vec{i}_g^* - \vec{i}_g$, siendo $\vec{i}_g^*$ (i_a^* , i_β^*) la corriente espacial de referencia en coordenadas espaciales fijas;
 - calcular, en función $\Delta\vec{i}_g$, U_{cc} y de la ecuación en fasores espaciales que describe la conexión del inversor con la carga o red trifásica, el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ ($U_{c\alpha}$, $U_{c\beta}$) en coordenadas espaciales fijas a aplicar por el inversor para que la corriente en la carga o red trifásica $\vec{i}_g$ evolucione hacia la corriente de referencia $\vec{i}_g^*$;
 - calcular y aplicar, a partir del fasor espacial tensión obtenido $\vec{U}_{conv}$ ($U_{c\alpha}$, $U_{c\beta}$) y mediante la técnica de modulación de fasores espaciales, los tiempos de conmutación de los transistores del inversor.

25

2.- Sistema de control según la reivindicación 1, donde los medios de control comprenden un procesador digital de señal.

3.- Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los medios de control están configurados para realizar el cálculo del fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$, y realizar la correspondiente conmutación de los transistores del inversor, sólo si se cumple $|\Delta\vec{i}_g| > \varepsilon$, siendo ε un valor

30

predeterminado que define un área espacial de histéresis para el valor del módulo del fasor espacial $\Delta \vec{i}_g$.

- 4.- Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** adicionalmente comprende medios de medida de las tres componentes (u_a , u_b , u_c) de la tensión trifásica de la carga o red trifásica; **y por que** los medios de control están configurados para obtener el fasor espacial $\vec{U}_g$ (u_a , u_β) en coordenadas espaciales fijas de la tensión trifásica medida y calcular el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ también en función de $\vec{U}_g$.

10

5.- Sistema de control según la reivindicación anterior, donde el inversor está conectado a la red eléctrica trifásica, caracterizado por que los medios de control obtienen el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ (U_{ca} , $U_{c\beta}$) según la siguiente ecuación en fasores espaciales que describe la conexión a red del inversor:

$$\vec{U}_{conv} = L \cdot \frac{d\vec{i}_g}{dt} + \vec{U}_g$$

15

, siendo L el valor de la inductancia del filtro de conexión a red.

- 6.- Sistema de control según la reivindicación anterior, donde para el cálculo del fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ (U_{ca} , $U_{c\beta}$) los medios de control obtienen los puntos de corte de la recta coincidente en dirección con $\Delta \vec{i}_g$ y que pasa por el fasor $\vec{U}_g$ con la circunferencia de radio $R = \sqrt{3}/2 \cdot U_{cc}$ que determina los fasores espaciales tensión que es posible generar con el inversor.

20

- 7.- Sistema de control según la reivindicación anterior, donde el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ (U_{ca} , $U_{c\beta}$) es aquel punto de corte en el que se cumple $(U_{ca} - u_a) \cdot C > 0$, siendo $C = i_\alpha^* - i_\alpha$.

25

- 8.- Procedimiento de control de un inversor trifásico como fuente de corriente no lineal, estando dicho inversor conectado a una carga trifásica o a la red eléctrica

30

trifásica, **caracterizado por que** comprende realizar de manera iterativa las siguientes etapas:

- medir la tensión U_{cc} en la zona de corriente continua del inversor;
- medir las tres componentes (i_a , i_b , i_c) de la corriente trifásica de la carga o red
- 5 trifásica;
- obtener el fasor espacial $\vec{i}_g$ (i_{α} , i_{β}) en coordenadas espaciales fijas de dicha corriente trifásica medida;
- obtener el incremento de corriente $\Delta\vec{i}_g = \vec{i}_g^* - \vec{i}_g$, siendo $\vec{i}_g^*$ (i_{α}^* , i_{β}^*) la corriente espacial de referencia en coordenadas espaciales fijas;
- 10 - calcular, en función de $\Delta\vec{i}_g$, U_{cc} y de la ecuación en fasores espaciales que describe la conexión del inversor con la carga o red trifásica, el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ ($U_{c\alpha}$, $U_{c\beta}$) en coordenadas espaciales fijas a aplicar por el inversor para que la corriente en la carga o red trifásica $\vec{i}_g$ evolucione hacia la corriente de referencia $\vec{i}_g^*$;
- calcular y aplicar, a partir del fasor espacial tensión obtenido $\vec{U}_{conv}$ ($U_{c\alpha}$, $U_{c\beta}$)
- 15 y mediante la técnica de modulación de fasores espaciales, los tiempos de conmutación de los transistores del inversor.

- 9.- Procedimiento de control según la reivindicación anterior, **caracterizado por que** el cálculo del fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ sólo se realiza si se cumple
- 20 $|\Delta\vec{i}_g| > \varepsilon$, siendo ε un valor predeterminado que define un área espacial de histéresis para el valor del módulo del fasor espacial $\Delta\vec{i}_g$.

- 10.- Procedimiento de control según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9, **caracterizado por que** comprende adicionalmente:

- 25 - medir las tres componentes (u_a , u_b , u_c) de la tensión trifásica de la carga o red trifásica;
- obtener el fasor espacial $\vec{U}_g$ (u_{α} , u_{β}) en coordenadas espaciales fijas de dicha tensión trifásica medida;
- y por que** el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv}$ se calcula también en función de $\vec{U}_g$.

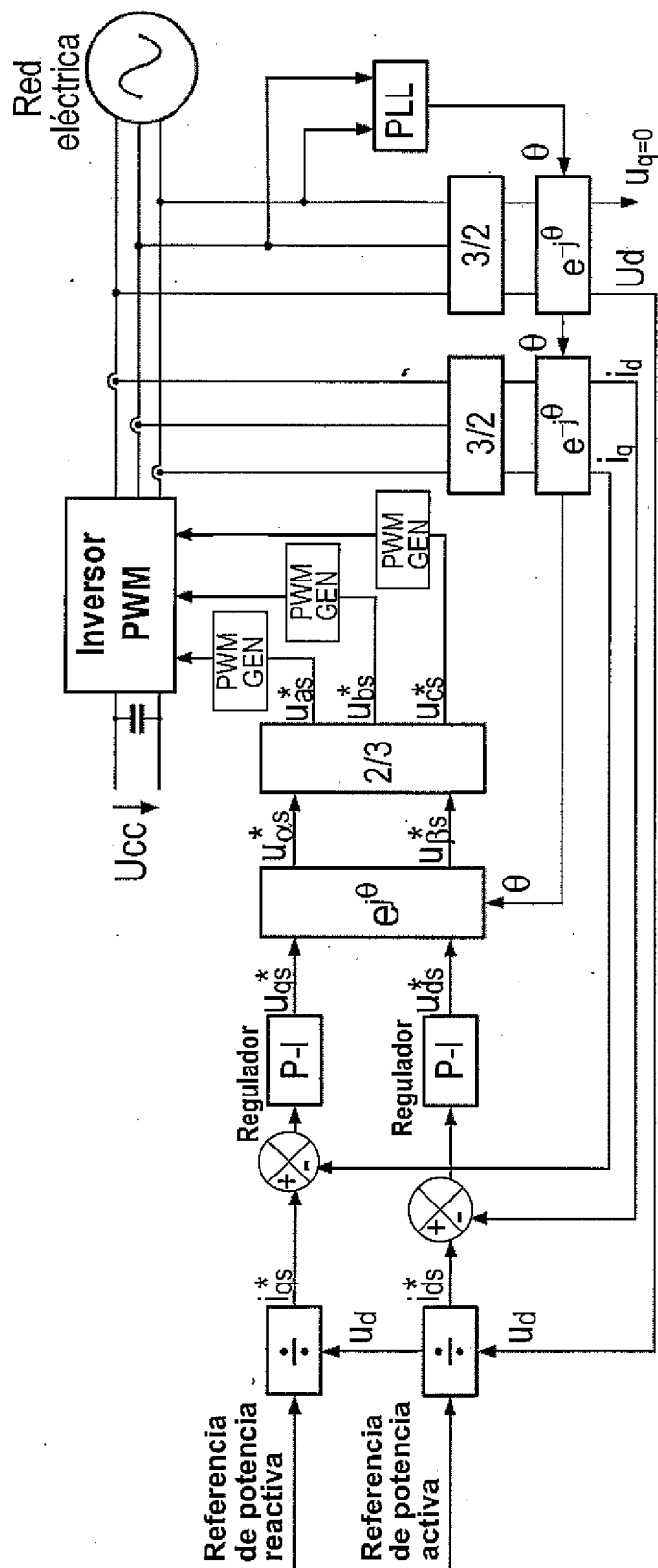
11.- Procedimiento de control según la reivindicación anterior, donde el inversor está conectado a la red eléctrica trifásica, caracterizado por que el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv} (U_{c\alpha}, U_{c\beta})$ se obtiene según la siguiente ecuación en fasores espaciales que describe la conexión a red del inversor:

$$5 \quad \vec{U}_{conv} = L \cdot \frac{d\vec{i}_g}{dt} + \vec{U}_g$$

, siendo L un valor conocido de la inductancia del filtro de conexión a red.

12.- Procedimiento de control según la reivindicación anterior, donde para el cálculo del fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv} (U_{c\alpha}, U_{c\beta})$ se obtienen los puntos de corte de la recta coincidente en dirección con $\Delta\vec{i}_g$ y que pasa por el fasor $\vec{U}_g$ con la circunferencia de radio $R = \sqrt{3}/2 \cdot U_{cc}$ que determina los fasores espaciales tensión que es posible generar con el inversor.

13.- Procedimiento de control según la reivindicación anterior, donde el fasor espacial tensión $\vec{U}_{conv} (U_{c\alpha}, U_{c\beta})$ es aquel punto de corte en el que se cumple $(U_{c\alpha} - u_{\alpha}) \cdot C > 0$, siendo $C = i_{\alpha}^* - i_{\alpha}$.



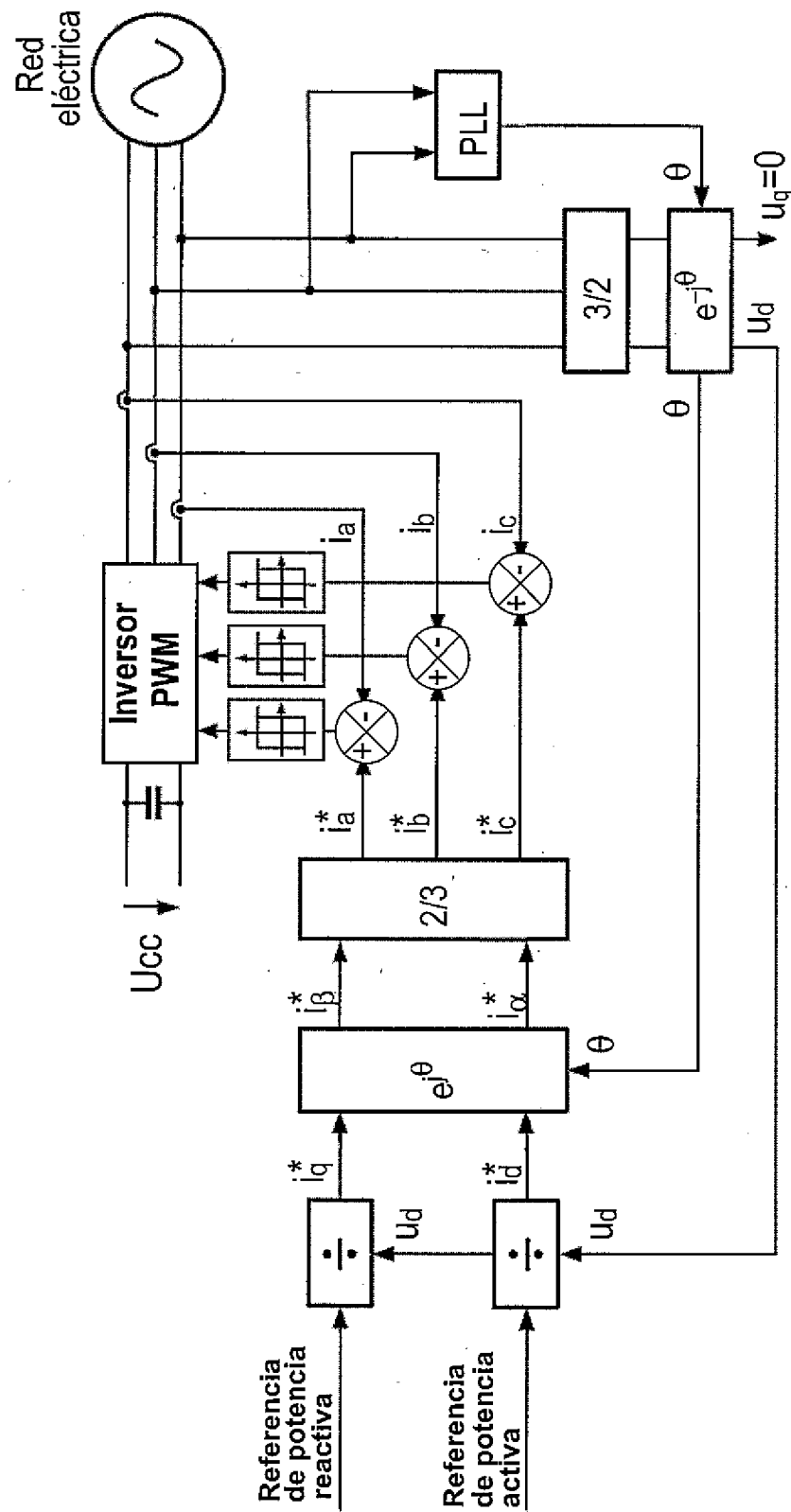


Fig. 2

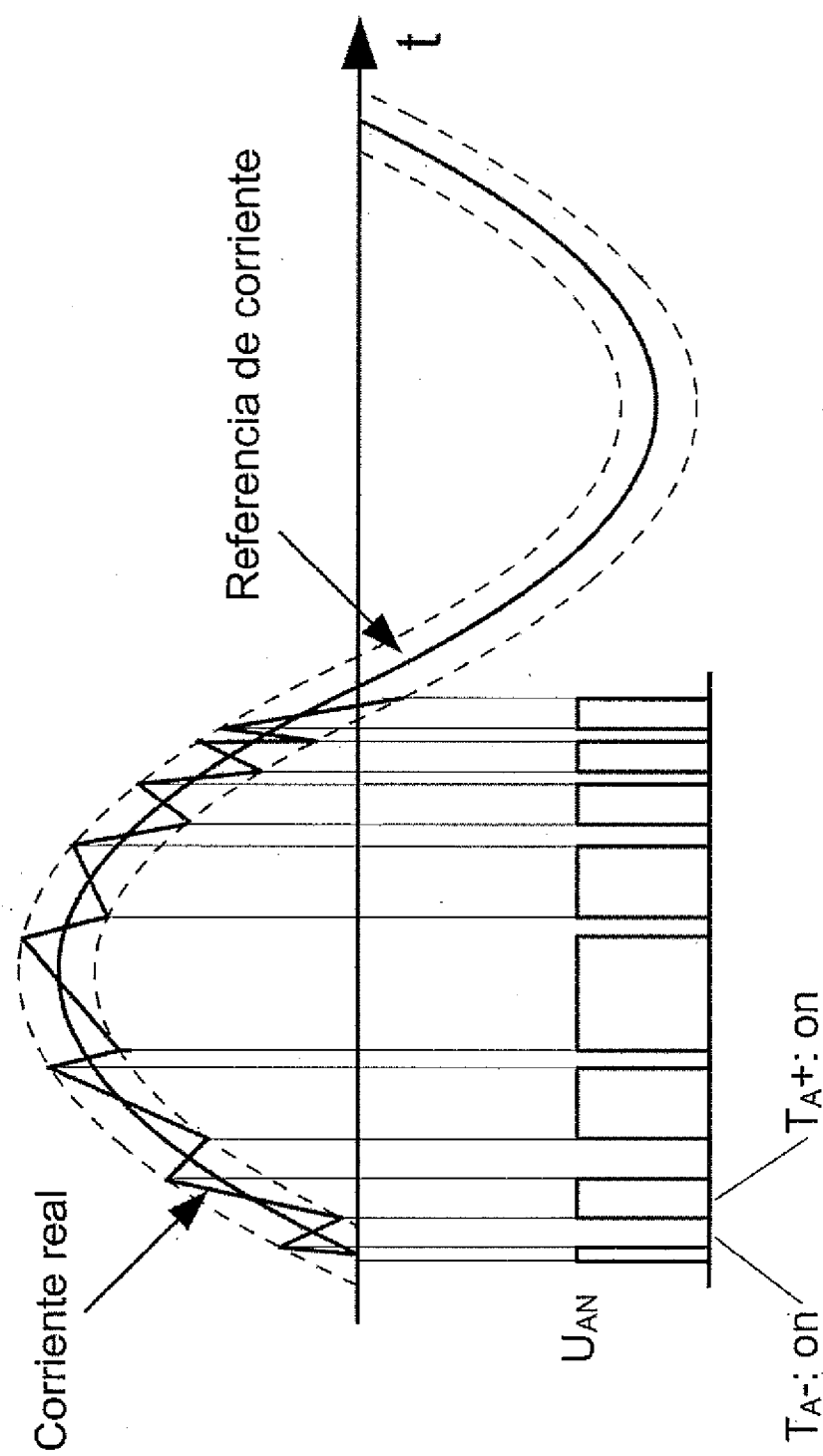


Fig. 3

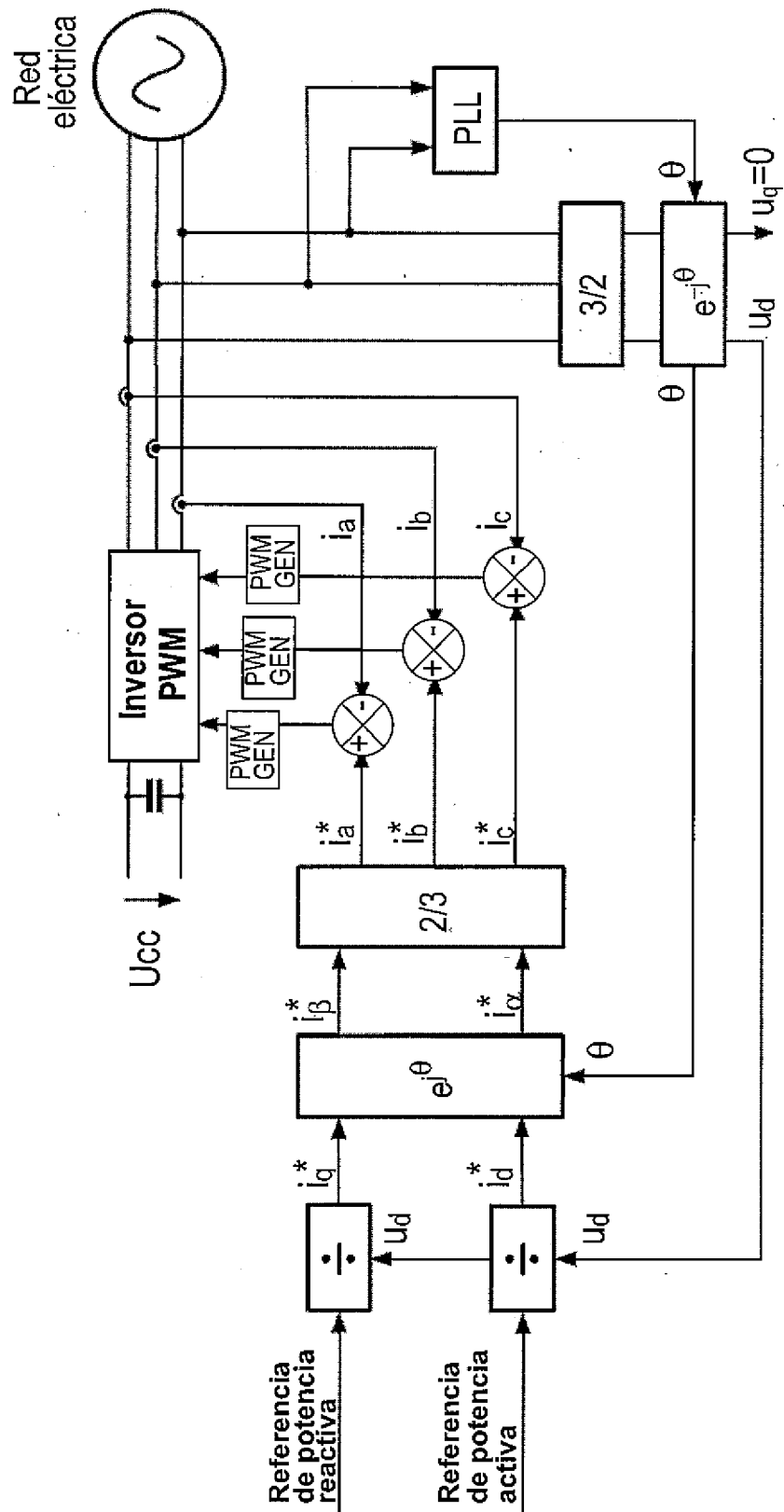


Fig. 4

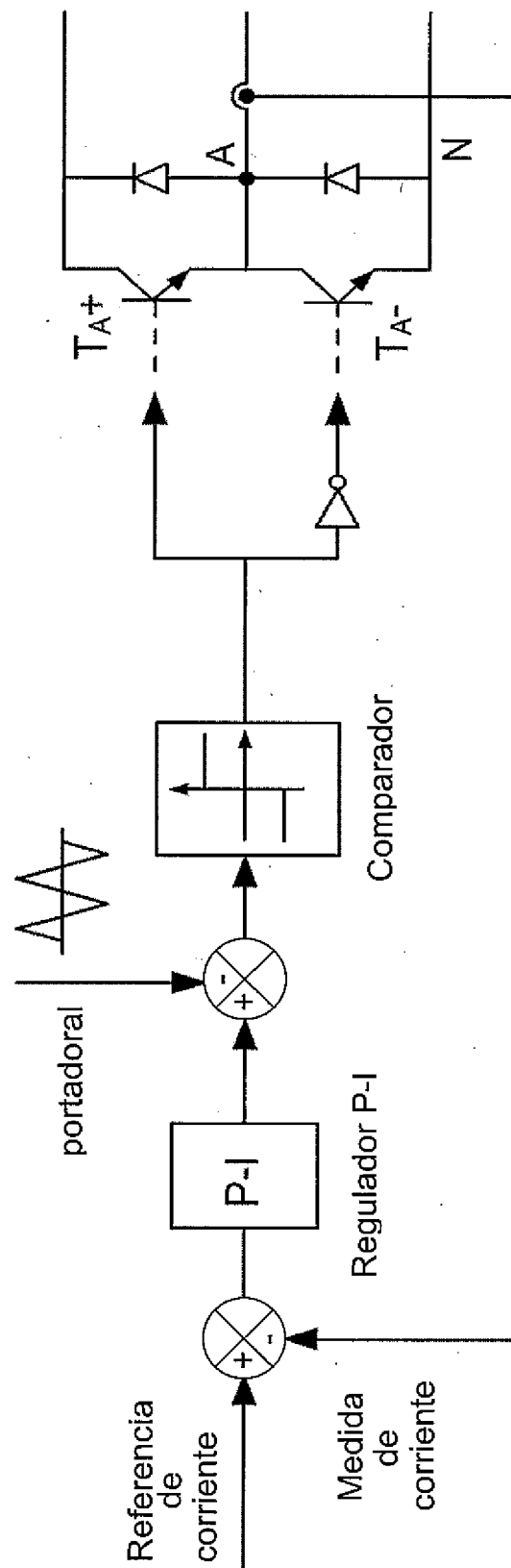
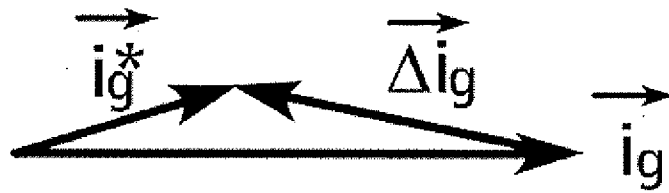
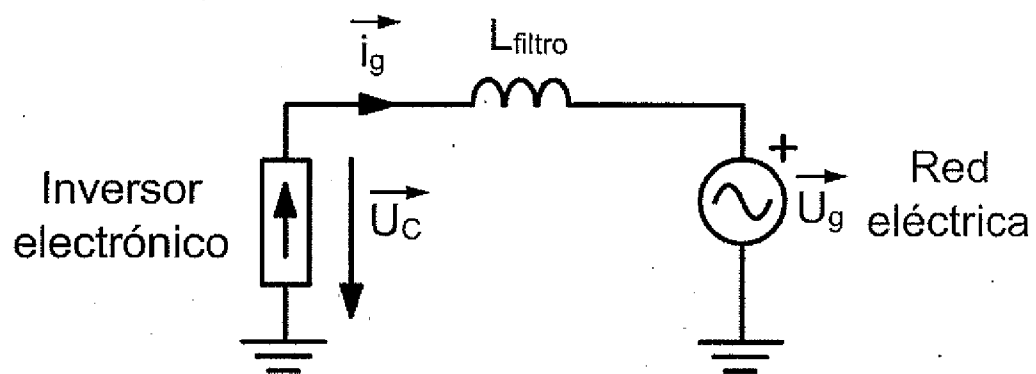


Fig. 5

Fig. 6Fig. 7

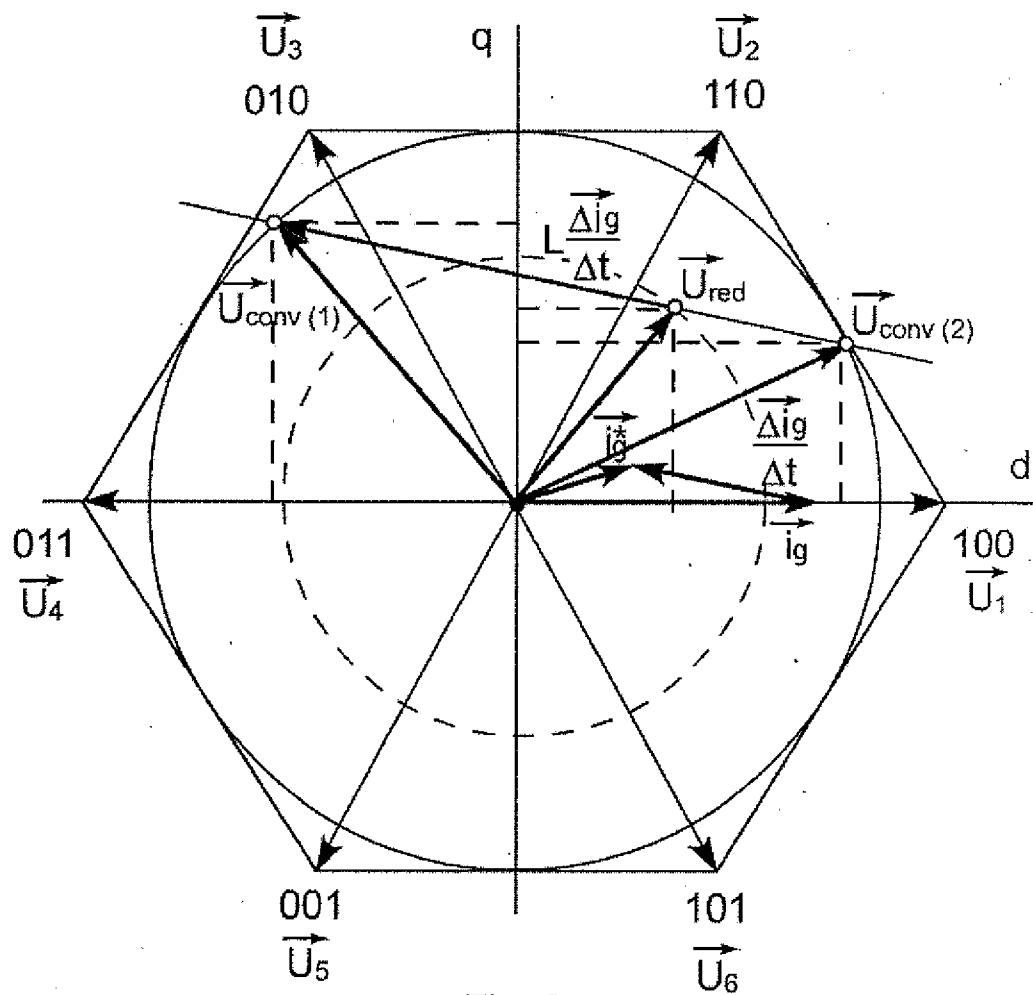


Fig. 8

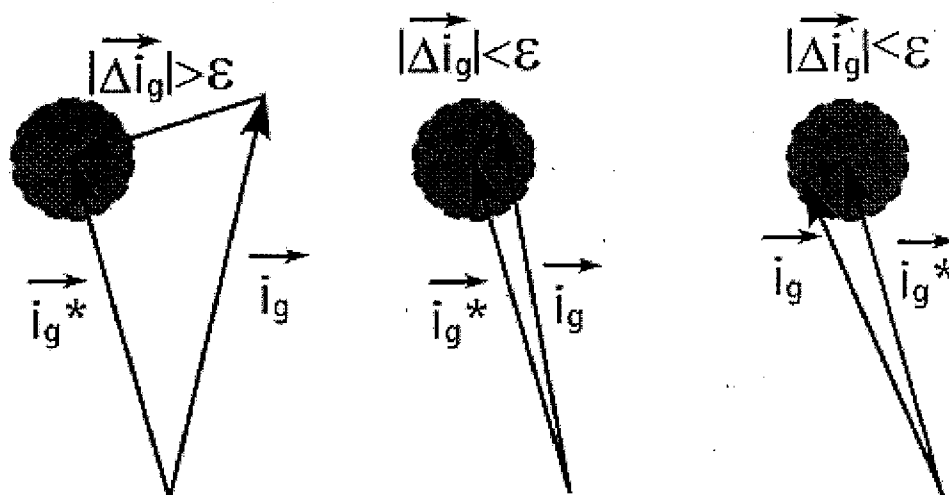


Fig. 9

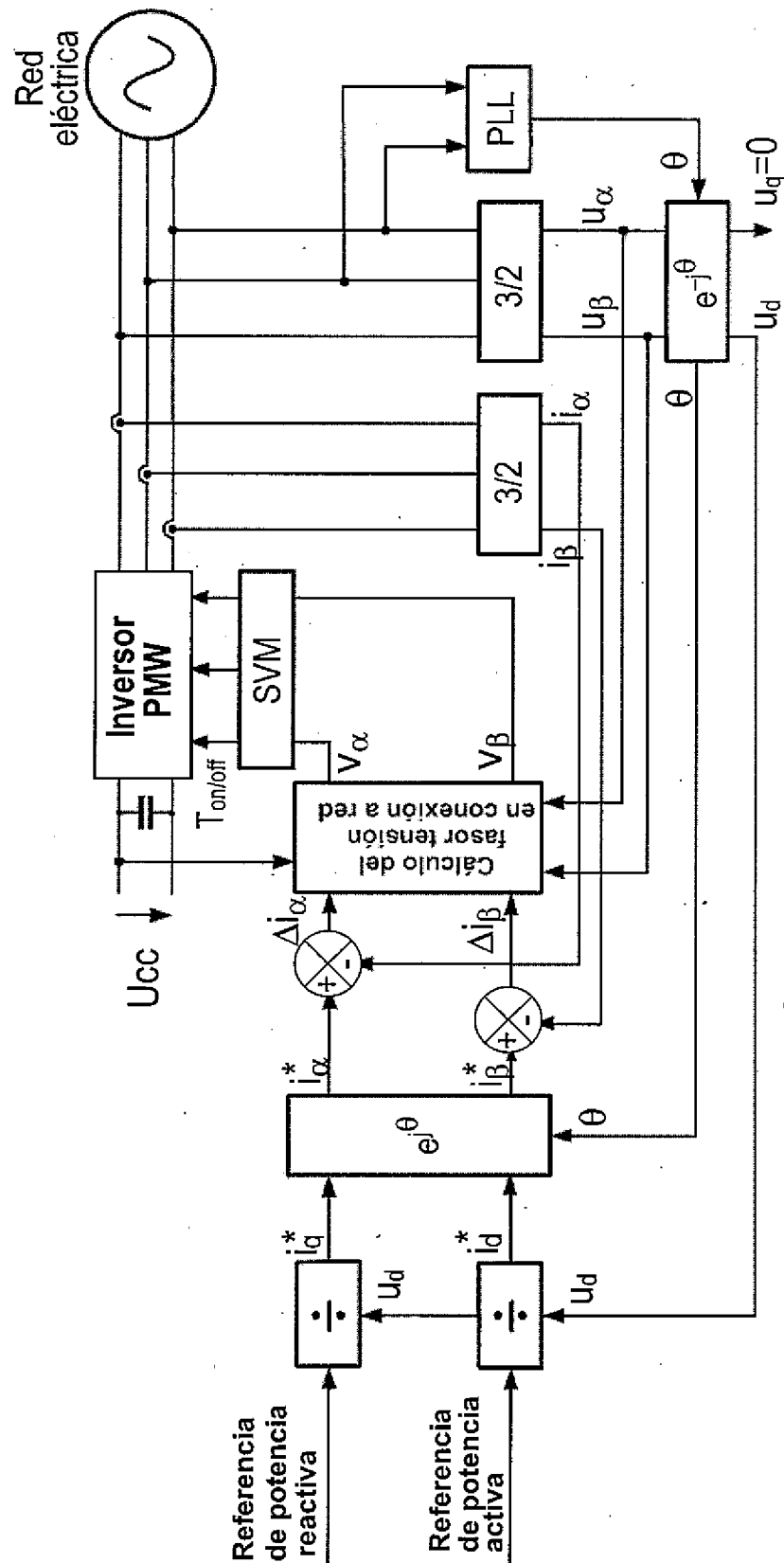


Fig. 10

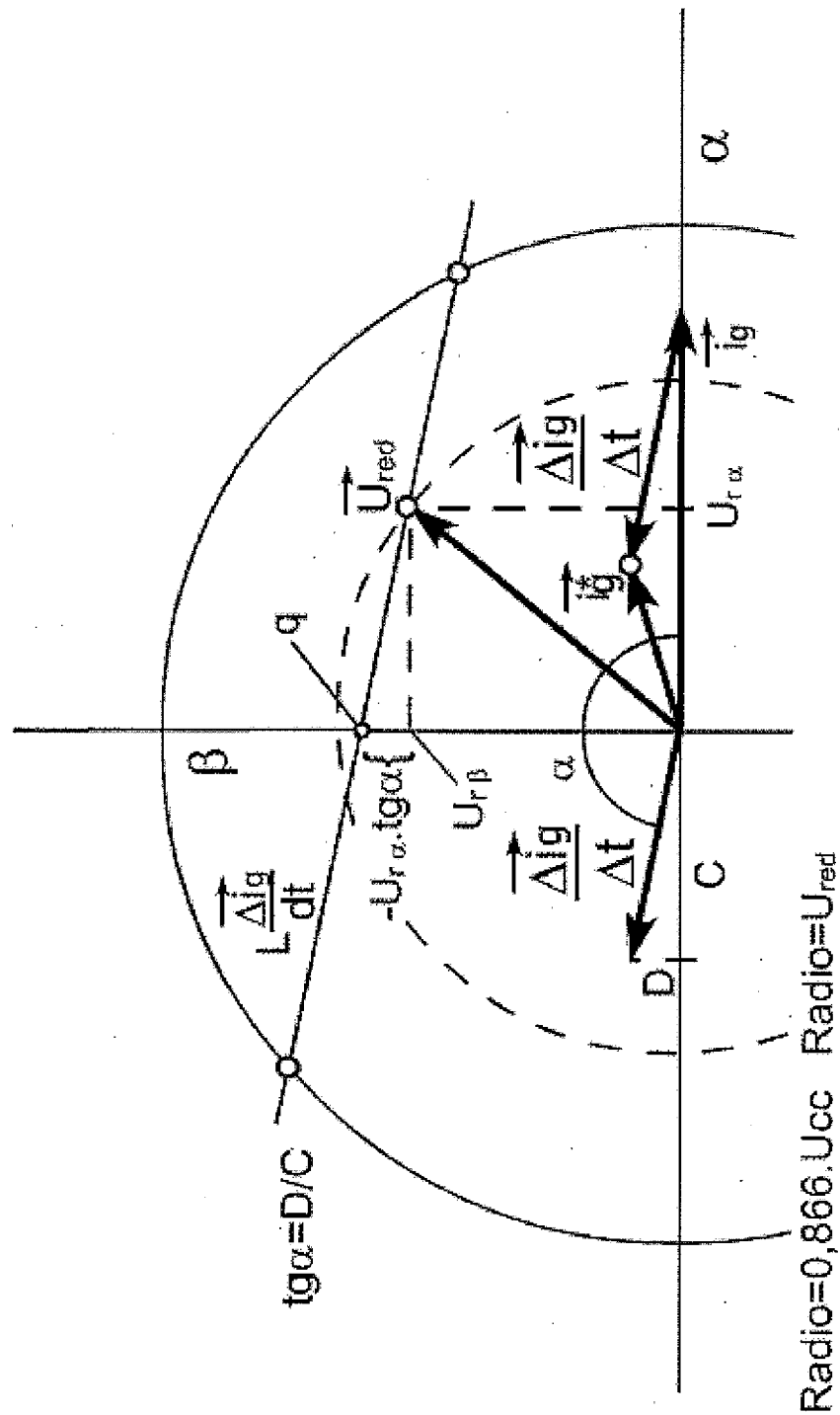


Fig. 11

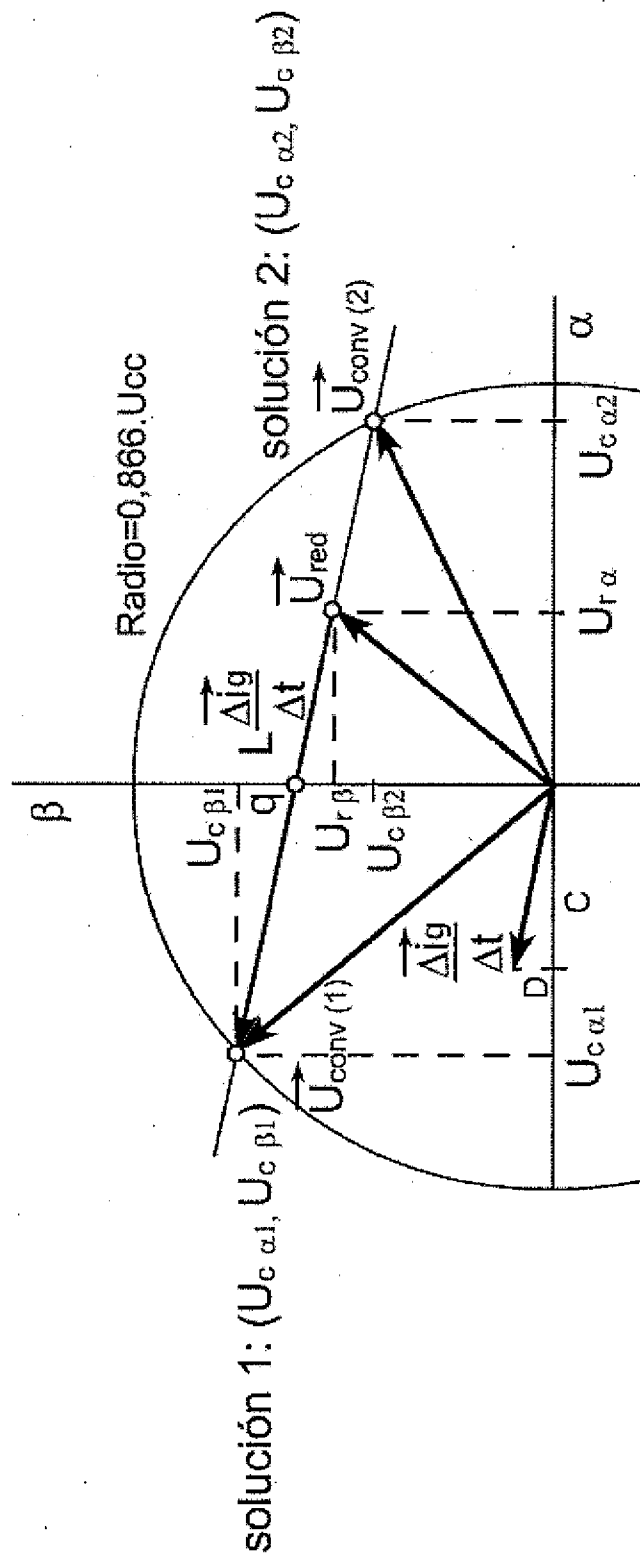
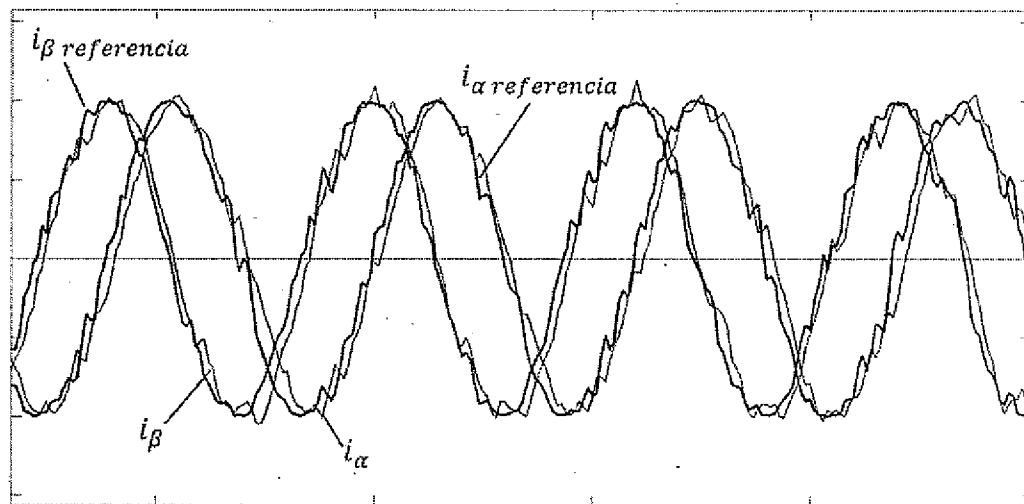
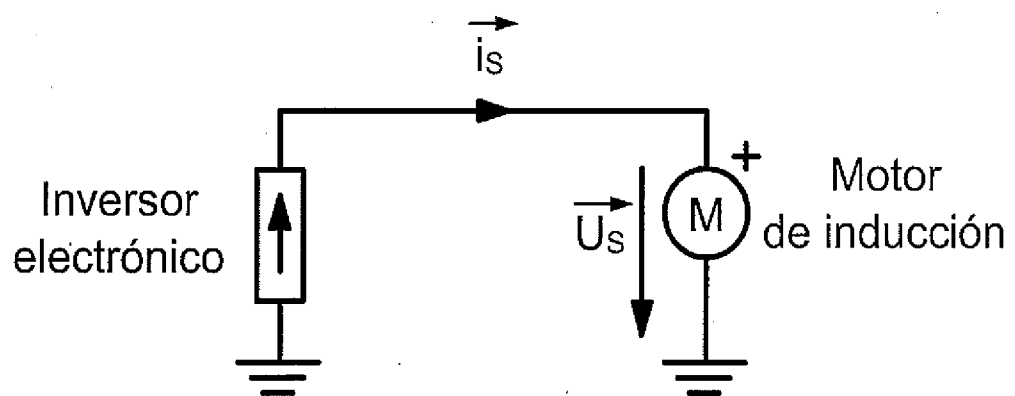


Fig. 12

Fig. 13Fig. 14

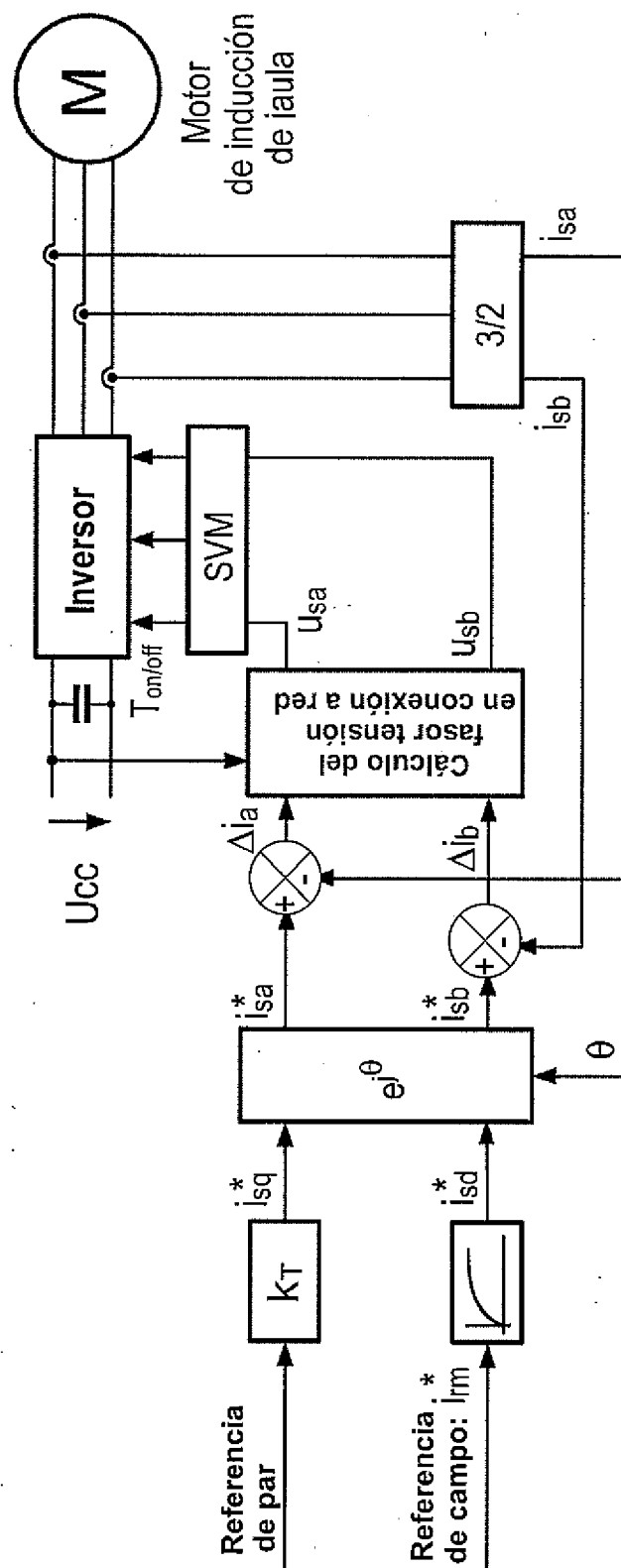


Fig. 15

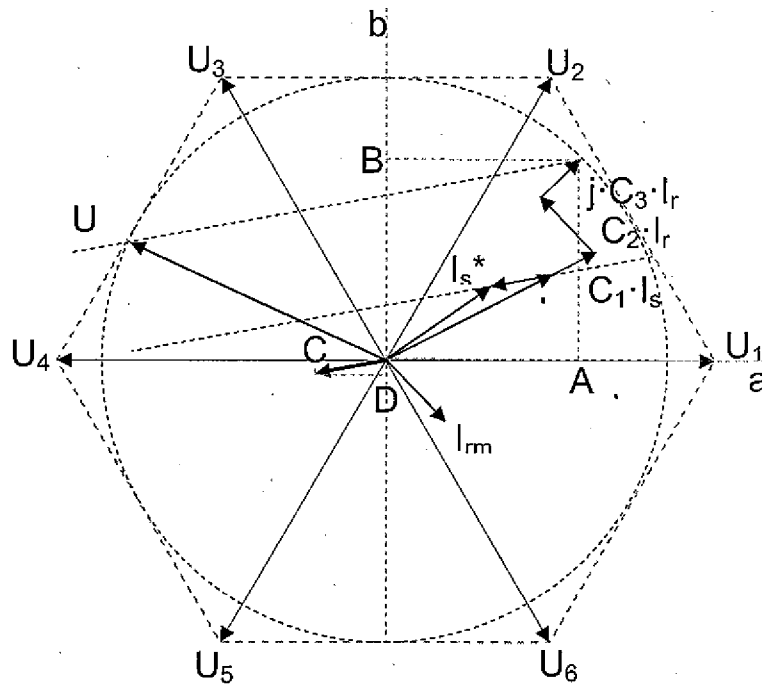


Fig. 16

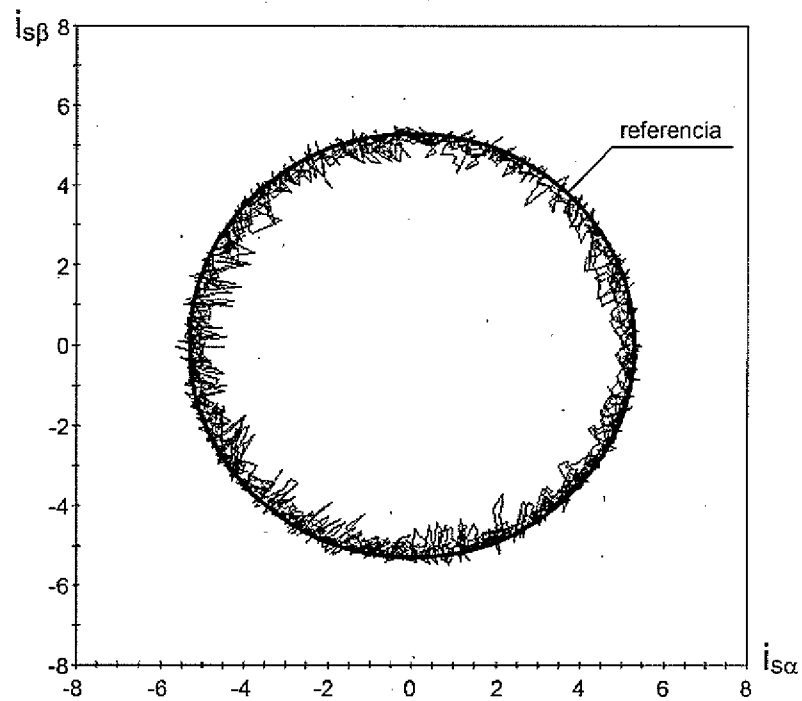


Fig. 17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2012/070392

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M7/5387 (2007.01)

H02P27/06 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02M, H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, IEEE, Elsevier

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MOHSENI et al., "A New Vector-Based Hysteresis Current Control Scheme for Three-Phase PWM Voltage-Source Inverters," Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 25, no. 9, pp. 2299-2309, Sept. 2010; doi:10.1109/TPEL.2010.2047270.	1-5,8-11
A		6,7,12,13
Y	NABAE et al., "A Novel Control Scheme for Current-Controlled PWM Inverters," Industry Applications, IEEE Transactions on , vol. IA-22, no. 4, pp. 697-701, July 1986; doi:10.1109/TIA.1986.4504780.	1-5,8-11
A		6,7,12,13

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents , such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
26/09/2012

Date of mailing of the international search report
(01/10/2012)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer
M. López Sábater

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Telephone No. 91 3495385

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2012/070392

C (continuation).			DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT
Category *	Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	
Y	SAMBASIVA et al., "A Comprehensive Analysis of Space Vector PWM Technique Based on Placement of Zero-Space Vector," International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), ISSN: 0975-5462 Vol. 3 No. 4, Abr 2011, pg: 2728-2739; URL:http://www.ijest.info/docs/IJEST11-03-04-040.pdf	1-5,8-11	
A		6,7,12,13	
A	I. NAGY, "Control of bidirectional power conversion," Industrial Electronics, 1993. Conference Proceedings, ISIE'93 - Budapest., IEEE International Symposium on, pp. 176-182, 1993; doi: 10.1109/ISIE.1993.268826.	1-13	
A	NIERMEYER et al., "Induction motor drive with parameter identification using a new predictive current control strategy," Power Electronics Specialists Conference, 1989. PESC '89 Record., 20th Annual IEEE, pp. 287-294 vol. 1, 26-29 Jun 1989; doi:10.1109/PESC.1989.48501.	1-13	
A	GHENNAM, et al., "A New Space-Vector Based Hysteresis Current Control Applied on Three-Level Inverter to Control Active and Reactive Powers of Wind Generator," Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 2007. POWERENG 2007. International Conference on, pp. 636-641, 12-14 April 2007; doi: 10.1109/POWERENG.2007.4380108.	1-13	
A	POLIC et al. , "FPGA Based Discrete Event Current Control Strategy for a Three Phase Inverter," Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International , pp. 246-251, August 30 2006-Sept. 1 2006; doi: 10.1109/EPEPEMC.2006.4778407.	1-13	
A	ROSSI, C.; TONIELLI, A., "Robust current controller for three-phase inverter using finite-state automaton," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 42, no. 2, pp. 169-178, Abr 1995; doi: 10.1109/41.370383.	1-13	

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2012/070392

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

H02M7/5387 (2007.01)

H02P27/06 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H02M, H02P

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, INVENES, IEEE, Elsevier

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
X	MOHSENI et al., "A New Vector-Based Hysteresis Current Control Scheme for Three-Phase PWM Voltage-Source Inverters," Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 25, no. 9, pp. 2299-2309, Sept. 2010; doi:10.1109/TPEL.2010.2047270.	1-5,8-11
A		6,7,12,13
Y	NABAE et al., "A Novel Control Scheme for Current-Controlled PWM Inverters," Industry Applications, IEEE Transactions on , vol. IA-22, no. 4, pp. 697-701, Julio 1986; doi:10.1109/TIA.1986.4504780.	1-5,8-11
A		6,7,12,13

☒ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

☐ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.	
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
26/09/2012

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
01 de octubre de 2012 (01/10/2012)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
M. López Sábater
Nº de teléfono 91 3495385

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional n°

PCT/ES2012/070392

C (Continuación).		DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES
Categoría *	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones n°
Y	SAMBASIVA et al., "A Comprehensive Analysis of Space Vector PWM Technique Based on Placement of Zero-Space Vector," International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), ISSN: 0975-5462 Vol. 3 No. 4, Abr 2011, pg: 2728-2739; URL:http://www.ijest.info/docs/IJEST11-03-04-040.pdf	1-5,8-11
A		6,7,12,13
A	I. NAGY, "Control of bidirectional power conversion," Industrial Electronics, 1993. Conference Proceedings, ISIE'93 - Budapest., IEEE International Symposium on, pp. 176-182, 1993; doi: 10.1109/ISIE.1993.268826.	1-13
A	NIERMEYER et al., "Induction motor drive with parameter identification using a new predictive current control strategy," Power Electronics Specialists Conference, 1989. PESC '89 Record., 20th Annual IEEE, pp. 287-294 vol. 1, 26-29 Jun 1989; doi:10.1109/PESC.1989.48501.	1-13
A	GHENNAM, et al., "A New Space-Vector Based Hysteresis Current Control Applied on Three-Level Inverter to Control Active and Reactive Powers of Wind Generator," Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 2007. POWERENG 2007. International Conference on, pp. 636-641, 12-14 Abril 2007; doi: 10.1109/POWERENG.2007.4380108.	1-13
A	POLIC et al. , "FPGA Based Discrete Event Current Control Strategy for a Three Phase Inverter," Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International , pp. 246-251, Agosto 30 2006-Sept. 1 2006; doi: 10.1109/EPEPEMC.2006.4778407.	1-13
A	ROSSI, C.; TONIELLI, A., "Robust current controller for three-phase inverter using finite-state automaton," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 42, no. 2, pp. 169-178, Abr 1995; doi: 10.1109/41.370383.	1-13