

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
13 de enero de 2011 (13.01.2011)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2011/004050 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes:
H02J 3/18 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2010/070477

(22) Fecha de presentación internacional:
9 de julio de 2010 (09.07.2010)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P200901611 9 de julio de 2009 (09.07.2009) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US): **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA** [ES/ES]; CTT - Edificio 6-G. Avda. de los Naranjos, s/n, E-46022 Valencia (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **LEÓN MARTÍNEZ, Vicente** [ES/ES]; CTT - Edificio 6-G. Avda. de los Naranjos, s/n, E-46022 Valencia (ES). **MONTAÑANA ROMEU, Joaquín** [ES/ES]; CTT - Edificio 6-G. Avda. de los Naranjos, s/n, E-46022 Valencia (ES).

(74) Mandatario: **MARTÍN SANTOS, Victoria Sofía**; C/ Explanada 8, 4º, E-28040 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, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

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

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD FOR COMPENSATING FOR UNBALANCE IN AN ELECTRIC POWER SUPPLY AND COMPENSATING DEVICE USED TO CARRY OUT SAME

(54) Título : PROCEDIMIENTO PARA LA COMPENSACIÓN DE LOS DESEQUILIBRIOS EN EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, ASÍ COMO EL DISPOSITIVO COMPENSADOR PARA SU PUESTA EN PRÁCTICA

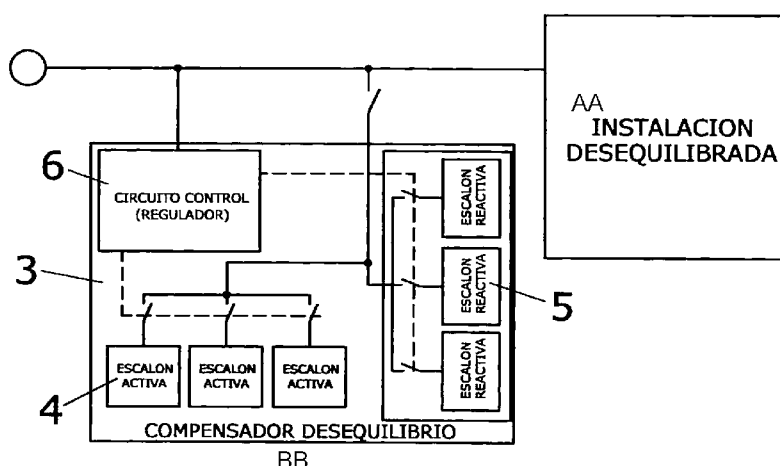


FIG.3

AA UNBALANCED UNIT
BB UNBALANCE COMPENSATOR
4 ACTIVE STEP
5 REACTIVE STEP
6 CONTROL CIRCUIT (REGULATOR)

(57) Abstract: The invention relates to a method for compensating for unbalance in an electric power supply, having two alternative modes of implementation, namely a) continuous variable and b) discrete variable in steps, comprising the following stages: acquisition of signals; measurement of currents; measurement of active power and reactive power; calculation of unbalance power values; establishment of a reference value that can be the value of the active and reactive steps or the maximum value of the active and reactive currents; and calculation of the admittance values of the compensator and the compensator current in the case of a variable compensator, in which the device includes a power circuit (capacitors and coils) and a control circuit (signal acquisition and unbalance value measurement programme).

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]



Procedimiento que busca la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, que puede ser implementado en dos alternativas, a) variable continuo y b) variable discreto a escalones, que consta de las siguientes etapas: Adquisición de señales, Medida de corrientes, Medidas de potencias activas y reactivas, calculo de las potencias de desequilibrio, establecimiento de un valor de referencia que puede ser el valor de los escalones de activa y reactiva o valor máximo de las corrientes de activa y reactiva y cálculo de las admitancias del compensador y de corriente del compensador en el caso de un compesador variable, dodne dispositivo consta de un circuito de potencia (condensadores y bobinas) y un circuito de control (adquisición de señales y programa de medida de desequilibrios).

**PROCEDIMIENTO PARA LA COMPENSACIÓN DE LOS DESEQUILIBRIOS EN
EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, ASÍ COMO EL DISPOSITIVO
COMPENSADOR PARA SU PUESTA EN PRÁCTICA.**

5

DESCRIPCIÓN

OBJETO DE LA INVENCION.

El objeto al cual se refiere la invención de la presente solicitud, es un
10 “Procedimiento para la compensación de los desequilibrios en el suministro de
energía eléctrica, así como el dispositivo compensador para su puesta en
práctica”.

El Procedimiento para la compensación de los desequilibrios en el
15 suministro de energía eléctrica, así como el dispositivo compensador para su
puesta en práctica objeto de la presente invención permite equilibrar (balancear)
los suministros de energía de la red eléctrica trifásica a cualquier receptor o
instalación eléctrica monofásica o trifásica, con consumos energéticos variables
en el tiempo. El Procedimiento también puede ser aplicado a receptores e
20 instalaciones eléctricas, monofásicas o trifásicas, con consumos energéticos fijos.

El dispositivo compensador de desequilibrios variable, para la puesta
en práctica de la presente invención, obtenido a partir del Procedimiento, puede
ser implementado de dos maneras alternativas: a) variable continuo y b) variable
25 discreto o a escalones. En este último caso, se establece el concepto de escalón
de asimetría o de desequilibrio como parámetro de diseño fundamental del
dispositivo compensador. Asimismo, se distinguen en el dispositivo compensador
el escalón de asimetría o de desequilibrio de las cargas activas y el escalón de
asimetría o de desequilibrio de las cargas reactivas.

30

ANTECEDENTES DE LA INVENCION.

Los desequilibrios de las cargas eléctricas dan lugar a suministros de energía de distinto valor en cada fase de las redes eléctricas trifásicas. Este funcionamiento es ineficiente, ya que son necesarias mayores corrientes para transferir un determinado valor de energía útil o activa, lo cual implica un
5 incremento de las pérdidas energéticas, por Joule, así como un incremento de la potencia necesaria de los transformadores y generadores eléctricos.

Una de las técnicas utilizadas desde antiguo para reducir estos efectos adversos de los desequilibrios es el reparto equitativo de cargas entre las
10 tres fases de la red eléctrica. Esta medida tiene efectos limitados sobre los desequilibrios y es de difícil aplicación en baja tensión, debido a la gran diversidad de cargas eléctricas monofásicas y su empleo no coordinado.

Otra solución conocida para paliar los efectos de los desequilibrios
15 es el empleo de “filtros activos”. Estos dispositivos son convertidores electrónicos que tienen la capacidad de suministrar un sistema de corrientes igual a las corrientes de desequilibrio originadas por las cargas desequilibradas. Existen patentados un gran número de filtros activos, cuya diferencia estriba, fundamentalmente, en el circuito de control (hardware y software) necesario para
20 la obtención de las corrientes de desequilibrio. No obstante, los filtros activos son escasamente utilizados en la mayoría de las aplicaciones industriales, debido a su elevado precio, y no suelen ser aplicados para la compensación de desequilibrios sino para la eliminación de las distorsiones armónicas.

25 También son conocidos los “filtros de secuencia” a tres y a cuatro hilos, patentados por la Universidad Politécnica de Valencia (**ES 2 156 828 y ES 2 169 651**). Se trata de dispositivos pasivos, formados por bobinas y condensadores, que son capaces de equilibrar cargas fijas. No son útiles para la compensación de los desequilibrios originados por cargas variables.

30

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La finalidad de la invención, que constituye el objeto de esta Patente,
35 consiste en la superación de los inconvenientes propios de los dispositivos de

compensación de los desequilibrios actualmente disponibles, precedentemente descritos, y su sustitución por compensadores de desequilibrios variables, activos y pasivos, basados en la Teoría Unificadora de la Potencia Eléctrica, desarrollada por los autores de esta invención.

5

El **procedimiento** para la compensación discreta (a escalones) de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, comprende las siguientes operaciones:

10 **1) Procesado digital de señales eléctricas.**

A partir de las muestras obtenidas por el Sistema físico de medida y adquisición de señales eléctricas del dispositivo, se obtienen las matrices de valores eficaces (V_z , I_z) y fases iniciales (α_{vz} , α_{iz}) de tensión e intensidad de frecuencia fundamental de cada fase ($z=1,2,3$) de la red eléctrica.

15

2) Obtención de las corrientes y potencias activas y reactivas.

Con las matrices anteriores se obtienen las matrices de los valores eficaces de las corrientes activas y reactivas de cada fase de la red eléctrica (I_{az} , I_{rz}), según las siguientes expresiones:

20

$$I_{az} = I_z \cdot \cos(\alpha_{vz} - \alpha_{iz}) \quad I_{rz} = I_z \cdot \sin(\alpha_{vz} - \alpha_{iz})$$

Asimismo y en base a las matrices de tensiones y a las matrices de las corrientes activas y reactivas, se obtienen las matrices de las potencias activas y reactivas de cada fase de la red eléctrica (P_z , Q_z) como:

25

$$P_z = V_z \cdot I_{az} \quad Q_z = V_z \cdot I_{rz}$$

3) Determinación de las potencias de desequilibrio de cada fase.

Cualquier variación de la corriente activa (ΔI_{az}) o de la potencia activa (ΔP_z) en una fase de la red eléctrica respecto del valor correspondiente al suministro equilibrado, produce un desequilibrio, cuya magnitud está definida por la potencia de desequilibrio debida a las cargas activas de dicha fase, obtenida por la expresión:

30

$$A_{pz} = \sqrt{2} \cdot \Delta P_z = \sqrt{2} V_z \cdot \Delta I_{az}$$

Asimismo, una variación de la corriente reactiva (ΔI_{rz}) o de la potencia reactiva (ΔQ_z) en cada fase de la red eléctrica respecto de los valores correspondientes al suministro equilibrado, da lugar a un desequilibrio, de valor definido por la potencia de desequilibrio causada por las cargas reactivas de dicha fase, expresada como:

$$A_{qz} = \sqrt{2} \cdot \Delta Q_z = \sqrt{2} V_z \cdot \Delta I_{rz}$$

La potencia de desequilibrio de cada fase de la red eléctrica define el efecto conjunto del desequilibrio provocado por las cargas activas y reactivas de cada fase. Se obtiene por cualquiera de las siguientes expresiones:

$$A_z = \sqrt{A_{pz}^2 + A_{qz}^2} = \sqrt{2 \cdot (\Delta P_z^2 + \Delta Q_z^2)} = \sqrt{2} V_z \sqrt{\Delta I_{az}^2 + \Delta I_{rz}^2}$$

En una realización preferida de la invención, las variaciones de corrientes activas y reactivas de cada fase, necesarias para determinar las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas de cada fase de la red eléctrica, se obtienen por la diferencia entre la corriente activa y reactiva de cada fase (I_{az} , I_{rz}) y el valor mínimo de estas corrientes en la red eléctrica ($I_{az \min}$, $I_{rz \min}$):

$$\Delta I_{az} = I_{az} - I_{az \min} \quad \Delta I_{rz} = I_{rz} - I_{rz \min}$$

En otra realización preferida, las variaciones de potencias activas y reactivas de cada fase, necesarias para determinar las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas de cada fase de la red eléctrica, se obtienen por la diferencia entre la potencia activa y reactiva de cada fase (P_z , Q_z) y su valor mínimo ($P_{z \min}$, $Q_{z \min}$):

$$\Delta P_z = P_z - P_{z \min} \quad \Delta Q_z = Q_z - Q_{z \min}$$

4) Establecimiento del valor del escalón de desequilibrio de las cargas activas y reactivas ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$).

Para un compensador de desequilibrio pasivo, variable a escalones, se define el escalón de desequilibrio como la menor potencia de desequilibrio que puede suministrar el compensador de desequilibrio. Cuanto más pequeño sea el escalón, tanto más precisa será la compensación del desequilibrio, pero el

dispositivo compensador deberá tener más escalones; por ello, su circuito de control o regulador será más complejo, y el compensador más caro. El valor de la potencia del escalón puede establecerse: 1) en base al análisis de la red eléctrica que se desea compensar y 2) con un valor predeterminado, en caso de fabricación en serie.

5) Determinación del número de escalones de activa y de reactiva a conectar en cada fase (N_{pz} , N_{qz}).

El número de escalones de activa (N_p) y de reactiva (N_q) son la parte entera del valor que, respectivamente, resulta de dividir las potencias de desequilibrio máximas debidas a las cargas activas y reactivas ($A_{p \max}$, $A_{q \max}$), que pueden presentarse en cualquier fase de la red eléctrica, y los escalones de desequilibrio de las cargas activas y reactivas ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$):

$$N_p = \text{ent} \left(\frac{A_{p \max}}{A_{p \text{ esc}}} \right) \quad N_q = \text{ent} \left(\frac{A_{q \max}}{A_{q \text{ esc}}} \right)$$

Los compensadores de desequilibrio variables deben tener el mismo número de escalones de activa en cada fase, e igualmente el mismo número de escalones de reactiva. Pero durante el funcionamiento normal del compensador no siempre son utilizados todos los escalones disponibles. Por esta razón, se definen el número de escalones de activa y de reactiva que deben ser conectados en cada fase (N_{pz} , N_{qz}) como la parte entera del cociente entre las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas (A_{pz} , A_{qz}), medidas en cualquier instante, según el tercer paso, y la potencia del escalón ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$):

$$N_{pz} = \text{ent} \left(\frac{A_{pz}}{A_{p \text{ esc}}} \right) \quad N_{qz} = \text{ent} \left(\frac{A_{qz}}{A_{q \text{ esc}}} \right)$$

Si estos cocientes son números enteros los desequilibrios originados por las cargas activas y reactivas son compensados completamente. Si alguno de ellos, o los dos, son números fraccionarios, el compensador suministrará potencias de desequilibrio (A_{pz}^r , A_{qz}^r) diferentes de las provocadas por las cargas activas (A_{pz} , A_{qz}):

$$A_{pz}^r = N_{pz} \cdot A_{p \text{ esc}} \quad A_{qz}^r = N_{qz} \cdot A_{q \text{ esc}}$$

En este caso, la compensación del desequilibrio no será completa, sino aproximada.

5 **6) Cálculo de las admitancias de los elementos del compensador de desequilibrio.**

En una primera realización preferida del compensador discreto, a escalones, las admitancias complejas de sus elementos se obtienen por las siguientes expresiones generales:

$$\bar{Y}_{i1} = j \frac{2}{3\sqrt{6}V^2} (A_{p1}^r - A_{p2}^r)$$

$$\bar{Y}_{i2} = j \frac{2}{3\sqrt{6}V^2} (A_{p2}^r - A_{p3}^r)$$

$$\bar{Y}_{i3} = j \frac{2}{3\sqrt{6}V^2} (A_{p3}^r - A_{p1}^r)$$

$$\bar{Y}_{h1} = j \frac{1}{3\sqrt{2}V^2} \left[\sqrt{3}(A_{p2}^r - A_{p3}^r) + 2A_{q1}^r - A_{q2}^r - A_{q3}^r \right]$$

$$\bar{Y}_{h2} = j \frac{1}{3\sqrt{2}V^2} \left[\sqrt{3}(A_{p3}^r - A_{p1}^r) - A_{q1}^r + 2A_{q2}^r - A_{q3}^r \right]$$

$$\bar{Y}_{h3} = j \frac{1}{3\sqrt{2}V^2} \left[\sqrt{3}(A_{p1}^r - A_{p2}^r) - A_{q1}^r - A_{q2}^r + 2A_{q3}^r \right]$$

En donde A_{pz}^r, A_{qz}^r son los valores reales de las potencias de desequilibrio suministradas por el compensador, V es el valor eficaz de las tensiones simples de las fases y j es la unidad imaginaria.

En una segunda realización preferida del compensador discreto, a escalones, en la que los escalones de activa y de reactiva están separados, las impedancias complejas de cada escalón se expresan como:

- Escalones de activa:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{h1p} &= \infty & \bar{Z}_{i1} &= \frac{3}{2} \bar{Z}_{h3} \\ \bar{Z}_{h2p} &= j \frac{\sqrt{6} V^2}{A_{p \text{ esc}}} & \bar{Z}_{i2} &= \infty \\ \bar{Z}_{h3p} &= -j \frac{\sqrt{6} V^2}{A_{p \text{ esc}}} & \bar{Z}_{i3} &= \frac{3}{2} \bar{Z}_{h2}\end{aligned}$$

- Escalones de reactiva:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{h1q} &= -j \frac{3\sqrt{2}}{2} \frac{V^2}{A_{q \text{ esc}}} \\ \bar{Z}_{h2q} &= j 3\sqrt{2} \frac{V^2}{A_{q \text{ esc}}} \\ \bar{Z}_{h3q} &= j 3\sqrt{2} \frac{V^2}{A_{q \text{ esc}}}\end{aligned}$$

5 El número de escalones de activa y de reactiva a conectar en esta última realización preferida está definido por N_{pz} y N_{qz} , definidos en la operación 5.

10 El **procedimiento** para la compensación variable, continua, de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, comprende las siguientes operaciones, además de las primera, segunda y tercera indicadas para los compensadores de desequilibrio discretos:

1) Establecer un valor de referencia para las variaciones de las corrientes activas y reactivas de cada fase.

15 Deben fijarse unos valores de referencia máximos para las variaciones de las corrientes activa ($\Delta I_{a \text{ max}}$) y reactiva ($\Delta I_{r \text{ max}}$), de tal forma que si las variaciones de corrientes activa y reactiva de cada fase (ΔI_{az} , ΔI_{rz}), obtenidas según la tercera operación del compensador discreto, superan estos valores de referencia, el circuito de control del compensador continuo
20 actúe sobre los interruptores del circuito de potencia.

2) Obtener las corrientes que debe suministrar el compensador en cada una de sus fases.

Las corrientes suministradas por el compensador de desequilibrios continuo se obtienen como:

$$\begin{aligned}\bar{I}_{c1} &= -(\bar{V}_{12} \cdot \bar{Y}_{i1} - \bar{V}_{31} \cdot \bar{Y}_{i3} + \bar{V}_1 \cdot \bar{Y}_{h1}) \\ \bar{I}_{c2} &= -(\bar{V}_{23} \cdot \bar{Y}_{i2} - \bar{V}_{12} \cdot \bar{Y}_{i1} + \bar{V}_2 \cdot \bar{Y}_{h2}) \\ \bar{I}_{c3} &= -(\bar{V}_{31} \cdot \bar{Y}_{i3} - \bar{V}_{23} \cdot \bar{Y}_{i2} + \bar{V}_3 \cdot \bar{Y}_{h3})\end{aligned}$$

Expresiones en las que $\bar{V}_z$ ($z=1,2,3$) son las tensiones de las fases de la red eléctrica, ($\bar{V}_{12}, \bar{V}_{23}, \bar{V}_{31}$) son las tensiones de línea de la red eléctrica, y las admitancias se expresan como:

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{i1} &= j \frac{2}{3\sqrt{3} \cdot V} (\Delta I_{a1} - \Delta I_{a2}) \\ \bar{Y}_{i2} &= j \frac{2}{3\sqrt{3} \cdot V} (\Delta I_{a2} - \Delta I_{a3}) \\ \bar{Y}_{i3} &= j \frac{2}{3\sqrt{3} \cdot V} (\Delta I_{a3} - \Delta I_{a1})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{h1} &= \frac{j}{3V} [\sqrt{3}(\Delta I_{a2} - \Delta I_{a3}) + 2\Delta I_{r1} - \Delta I_{r2} - \Delta I_{r3}] \\ \bar{Y}_{h2} &= \frac{j}{3V} [\sqrt{3}(\Delta I_{a3} - \Delta I_{a1}) - \Delta I_{r1} + 2\Delta I_{r2} - \Delta I_{r3}] \\ \bar{Y}_{h3} &= \frac{j}{3V} [\sqrt{3}(\Delta I_{a1} - \Delta I_{a2}) - \Delta I_{r1} - \Delta I_{r2} + 2\Delta I_{r3}]\end{aligned}$$

En donde V es el valor eficaz de las tensiones de fase de la red eléctrica, j es la unidad imaginaria y las variaciones de corrientes activas y reactivas de cada fase ($\Delta I_{az}, \Delta I_{rz}$) se obtienen tal como se indicó en la tercera operación del compensador discreto, a escalones.

El **dispositivo** de puesta en práctica para la compensación de los desequilibrios de las redes eléctricas consta de un circuito de potencia y de un circuito de control.

En una primera realización preferida de los compensadores discretos, a escalones, el circuito de potencia está formado por bobinas y condensadores variables, obtenidos a partir de un condensador fijo y una bobina variable, asociados en serie o en paralelo. En una segunda realización preferida

de los compensadores discretos, a escalones, el circuito de potencia está formado por varios escalones de activa y de reactiva formados por bobinas y condensadores, que pueden ser ajustados a voluntad y conectarse y desconectarse mediante contactores o interruptores estáticos.

5 Los elementos del circuito de potencia de los compensadores de desequilibrios continuos está formado por interruptores estáticos.

Los circuitos de control de los compensadores de desequilibrios de las redes eléctricas, tanto discretos como continuos, que son objeto de la presente invención, están formados por un Sistema físico de medida y adquisición de señales eléctricas (hardware), y un Programa de medida de los desequilibrios (software) desarrollado por los mismos autores de la invención. El sistema de medida y adquisición de señales eléctricas se compone de:

- 15 - Sensores de medida de tensión e intensidad del sistema eléctrico, encargados de medir los valores instantáneos de dichas variables.
- Acondicionadores de señal que adaptan la corriente del secundario de cada sensor, al nivel de tensión aplicable a las entradas analógicas de la tarjeta de adquisición.
- Tarjeta de adquisición, encargada de convertir las señales analógicas de tensión e intensidad, en una serie de muestras discretas que se utilizan como entrada en el programa de medida de la potencia eléctrica.
- 20 - Sistema procesador, con una placa base en la que se coloca la tarjeta de adquisición para que se puedan intercambiar las muestras discretas de las señales de tensión e intensidad, con el Programa de medida de la potencia eléctrica.

El Programa o software para la medida de los desequilibrios y el funcionamiento del circuito de control (regulador) se compone de las siguientes partes de programación (módulos de programa):

- 30 - **Módulo de adquisición**, encargado de adquirir muestras de tensión e intensidad, que se guardan en un vector para cada tensión e intensidad.
- **Módulo de análisis**, encargado de obtener las matrices, en valor eficaz y en fase, de las tensiones e intensidades, para la frecuencia fundamental, a partir de las muestras adquiridas en el módulo anterior; obteniéndose además los

valores eficaces de las intensidades activas y reactivas de cada fase, por integración numérica.

- **Módulo de potencias activas y reactivas**, encargado de calcular los valores de las potencias activas y reactivas de cada fase, a partir de los valores eficaces de tensiones e intensidades obtenidos en el módulo anterior.
- **Módulo de desequilibrios**, encargado de obtener las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas a partir de las variaciones de corrientes o de las variaciones de las potencias activas y reactivas de cada fase respectivo de los valores correspondientes al sistema equilibrado.
- **Módulo de escalón de desequilibrio (únicamente para compensadores discretos)**, encargado de determinar el número de escalones de activa y de reactiva a utilizar en cada instante, a partir de los valores obtenidos del módulo de desequilibrios y de la potencia fijada para el escalón de activa y de reactiva.
- **Módulo de referencia de corrientes (únicamente para compensadores continuos)**, encargado de comparar las variaciones de corriente activa y reactiva de cada fase con unos valores máximos fijados como referencia.
- **Módulo de admitancias**, encargado de obtener los valores de las admitancias complejas de los elementos del compensador, que determinan las corrientes suministradas por el compensador.
- **Módulo de corrientes suministradas (únicamente para compensadores continuos)**, encargado de obtener las corrientes de desequilibrio que debe suministrar el compensador, obtenidas a partir del módulo de admitancias.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS.

Para complementar la descripción de la invención y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de sus características, de acuerdo con ejemplos preferentes de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra esquemáticamente los elementos integrantes de una realización preferente del compensador de desequilibrios variable, a escalones, la conexión entre dichos elementos y la conexión del compensador a la red eléctrica y a la instalación desequilibrada.

5

Figura 2.- Muestra una realización preferida del compensador anterior con condensadores y bobinas variables.

Figura 3.- Muestra esquemáticamente otra realización preferente de un compensador de desequilibrios variable, a escalones, y su conexión a la red eléctrica y a la instalación desequilibrada.

10

Figura 4.- Muestra la constitución y los elementos integrantes de escalones de activa y reactiva ajustables en valor, para el compensador variable, a escalones, anterior.

15

Figura 5.- Muestra el diagrama de flujos de las operaciones correspondientes al procedimiento para un compensador variable, a escalones.

Figura 6.- Muestra el diagrama de flujos de las operaciones correspondientes al procedimiento para un compensador variable, continuo.

20

Figura 7.- Muestra las partes que componen el circuito de control de cualquier compensador de desequilibrios variable, acuerdo con otra realización preferida de la invención.

25

DESCRIPCION DE UNA REALIZACION PREFERENTE.

Para mostrar con claridad la naturaleza y el alcance de la aplicación ventajosa del **Procedimiento** para la compensación de los desequilibrios en el suministro de la energía eléctrica, así como el **dispositivo** para su puesta en práctica, se describen seguidamente las características operacionales de dispositivo compensador y del procedimiento de compensación de los desequilibrios seguido, haciendo referencia a los diagramas que, por representar

30

35

realizaciones preferentes de aquellos, con carácter informativo, deben considerarse en su sentido más amplio y no como limitadores de la aplicación y el contenido de la invención.

5 Una posible realización del **procedimiento** para la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, objeto de la presente invención, se muestra en la figura 5 y comprende las siguientes operaciones:

10 - Adquisición de señales eléctricas (A) procedentes del medio de adquisición de datos (10) mostrado en la figura 7, del que se obtienen N muestras de tensiones y corrientes de cada fase de la red trifásica, cuyo número depende de la frecuencia de muestreo, f_m . Tras un filtrado digital de dichas muestras mediante un filtro digital paso bajo FIR o IIR, se generan dos matrices, $v_1(n)$ e $i_1(n)$, formadas por las N muestras de tensiones y corrientes de cada fase correspondientes a la frecuencia fundamental (50 Hz ó 60 Hz).

15 - Medida de corrientes de las fases (B). De la medida anterior quedan definidos los fasores temporales de frecuencia fundamental de las tensiones y corrientes de las fases $[(\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3), (\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3)]$. De los mismos, se obtienen las componentes activas (I_{a1}, I_{a2}, I_{a3}) y reactivas (I_{r1}, I_{r2}, I_{r3}) , de frecuencia fundamental, de las corrientes de las fases ($z=1,2,3$), como:

$$I_{az} = I_z \cdot \cos(\alpha_{vz} - \alpha_{iz}) \quad I_{rz} = I_z \cdot \sin(\alpha_{vz} - \alpha_{iz})$$

25 - Medida de las potencias activas y reactivas de las fases (C). A partir de los valores de las corrientes activas y reactivas de cada fase, se obtienen las potencias activas y reactivas de cada fase ($z=1,2,3$) como:

$$P_z = V_z \cdot I_{az} \quad Q_z = V_z \cdot I_{rz}$$

30 - Cálculo de las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas (D). Una vez registrado el valor mínimo de las corrientes activas y reactivas $(I_{az \min}, I_{rz \min})$ y de las potencias activas y reactivas $(P_{z \min}, Q_{z \min})$ de las tres fases de la red eléctrica, se obtienen las variaciones de corrientes activas y reactivas, respecto de los valores correspondientes al suministro equilibrado:

$$\Delta I_{az} = I_{az} - I_{az \min} \quad \Delta I_{rz} = I_{rz} - I_{rz \min}$$

y las variaciones de potencia activa y reactiva de cada fase respecto de las correspondientes al sistema equilibrado:

$$\Delta P_z = P_z - P_{z \min} \quad \Delta Q_z = Q_z - Q_{z \min}$$

- 5 De donde las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y a las cargas reactivas se obtienen, respectivamente, como:

$$A_{pz} = \sqrt{2} \cdot \Delta P_z = \sqrt{2} V_z \cdot \Delta I_{az}$$

$$A_{qz} = \sqrt{2} \cdot \Delta Q_z = \sqrt{2} V_z \cdot \Delta I_{rz}$$

- 10 - Determinación del número de escalones de activa y de reactiva usados en cada fase (E). Una vez fijadas la potencia del escalón de activa y de reactiva ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$), definidas como la menor potencia de desequilibrio para las cargas activas y reactivas que puede suministrar el compensador, puede obtenerse un parámetro de diseño de los compensadores de desequilibrio variables, a escalones, en cualquiera de
15 las dos realizaciones preferidas, mostradas en las figuras 1, 2, 3 y 4. Este parámetro, antes aludido, es el número de escalones de activa (N_p) y de reactiva (N_q), definidos como la parte entera del valor que, respectivamente, resulta de dividir las potencias de desequilibrio máximas debidas a las cargas activas y reactivas ($A_{p \text{ max}}$, $A_{q \text{ max}}$), que pueden
20 presentarse en cualquier fase de la red eléctrica, y los escalones de desequilibrio de las cargas activas y reactivas ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$):

$$N_p = \text{ent} \left(\frac{A_{p \text{ max}}}{A_{p \text{ esc}}} \right) \quad N_q = \text{ent} \left(\frac{A_{q \text{ max}}}{A_{q \text{ esc}}} \right)$$

- El número de escalones de activa y de reactiva que deben ser conectados en cada fase (N_{pz} , N_{qz}) durante el funcionamiento del compensador se obtienen
25 como la parte entera del cociente entre las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas (A_{pz} , A_{qz}), medidas en cualquier instante y la potencia del escalón ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$):

$$N_{pz} = \text{ent} \left(\frac{A_{pz}}{A_{p \text{ esc}}} \right) \quad N_{qz} = \text{ent} \left(\frac{A_{qz}}{A_{q \text{ esc}}} \right)$$

- Cálculo de las admitancias del compensador de desequilibrio variable, a escalones (F). En su funcionamiento, el compensador suministrará unas potencias de desequilibrio (A_{pz}^r, A_{qz}^r):

$$A_{pz}^r = N_{pz} \cdot A_{p \text{ esc}} \quad A_{qz}^r = N_{qz} \cdot A_{q \text{ esc}}$$

- 5 La sustitución de estas potencias en las expresiones siguientes determina el valor de las admitancias de los elementos del compensador variable, a escalones, mostrado en las figuras 1 y 2:

$$\bar{Y}_{i1} = j \frac{2}{3\sqrt{6}V^2} (A_{p1}^r - A_{p2}^r)$$

$$\bar{Y}_{i2} = j \frac{2}{3\sqrt{6}V^2} (A_{p2}^r - A_{p3}^r)$$

$$\bar{Y}_{i3} = j \frac{2}{3\sqrt{6}V^2} (A_{p3}^r - A_{p1}^r)$$

$$\bar{Y}_{h1} = j \frac{1}{3\sqrt{2}V^2} [\sqrt{3}(A_{p2}^r - A_{p3}^r) + 2A_{q1}^r - A_{q2}^r - A_{q3}^r]$$

$$\bar{Y}_{h2} = j \frac{1}{3\sqrt{2}V^2} [\sqrt{3}(A_{p3}^r - A_{p1}^r) - A_{q1}^r + 2A_{q2}^r - A_{q3}^r]$$

$$\bar{Y}_{h3} = j \frac{1}{3\sqrt{2}V^2} [\sqrt{3}(A_{p1}^r - A_{p2}^r) - A_{q1}^r - A_{q2}^r + 2A_{q3}^r]$$

10

En donde A_{pz}^r, A_{qz}^r son los valores reales de las potencias de desequilibrio suministradas por el compensador, V es el valor eficaz de las tensiones simples de las fases y j es la unidad imaginaria.

- 15 En una segunda realización preferida del compensador discreto, a escalones, mostrada en las figuras 3 y 4, en la que los escalones de activa y de reactiva están separados, las impedancias complejas de cada escalón se obtienen como:

- 20 - Escalones de activa:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{h1p} &= \infty \\ \bar{Z}_{h2p} &= j \frac{\sqrt{6}V^2}{A_{p \text{ esc}}} \\ \bar{Z}_{h3p} &= -j \frac{\sqrt{6}V^2}{A_{p \text{ esc}}}\end{aligned}\quad \begin{aligned}\bar{Z}_{i1} &= \frac{3}{2} \bar{Z}_{h3} \\ \bar{Z}_{i2} &= \infty \\ \bar{Z}_{i3} &= \frac{3}{2} \bar{Z}_{h2}\end{aligned}$$

- Escalones de reactiva:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{h1q} &= -j \frac{3\sqrt{2}}{2} \frac{V^2}{A_{q \text{ esc}}} \\ \bar{Z}_{h2q} &= j3\sqrt{2} \frac{V^2}{A_{q \text{ esc}}} \\ \bar{Z}_{h3q} &= j3\sqrt{2} \frac{V^2}{A_{q \text{ esc}}}\end{aligned}$$

5 El número de escalones de activa y de reactiva a conectar en esta última realización preferida está definido por N_{pz} y N_{qz} , definidos en la operación 5.

Otra posible realización del **procedimiento** para la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, objeto de la presente invención, se muestra en la figura 6 y aplicado a compensadores variables,
10 continuos, comprende las siguientes operaciones:

- Adquisición de señales eléctricas (A) procedentes del medio de adquisición de datos (10) mostrado en la figura 7, del que se obtienen N muestras de tensiones y corrientes de cada fase de la red trifásica, cuyo número depende
15 de la frecuencia de muestreo, f_m . Tras un filtrado digital de dichas muestras mediante un filtro digital paso bajo FIR o IIR, se generan dos matrices, $v_1(n)$ e $i_1(n)$, formadas por las N muestras de tensiones y corrientes de cada fase correspondientes a la frecuencia fundamental (50 Hz ó 60 Hz).
- 20 - Medida de corrientes de las fases (B). De la medida anterior quedan definidos los fasores temporales de frecuencia fundamental de las tensiones y corrientes de las fases $[(\bar{V}_1, \bar{V}_2, \bar{V}_3), (\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3)]$. De los mismos, se obtienen

las componentes activas (I_{a1}, I_{a2}, I_{a3}) y reactivas (I_{r1}, I_{r2}, I_{r3}), de frecuencia fundamental, de las corrientes de las fases ($z=1,2,3$), como:

$$I_{az} = I_z \cdot \cos(\alpha_{vz} - \alpha_{iz}) \quad I_{rz} = I_z \cdot \sin(\alpha_{vz} - \alpha_{iz})$$

- 5 - Medida de las potencias activas y reactivas de las fases (C). A partir de los valores de las corrientes activas y reactivas de cada fase, se obtienen las potencias activas y reactivas de cada fase ($z=1,2,3$) como:

$$P_z = V_z \cdot I_{az} \quad Q_z = V_z \cdot I_{rz}$$

- 10 - Cálculo de las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas (D). Una vez registrado el valor mínimo de las corrientes activas y reactivas ($I_{az \min}$, $I_{rz \min}$) y de las potencias activas y reactivas ($P_{z \min}$, $Q_{z \min}$) de las tres fases de la red eléctrica, se obtienen las variaciones de corrientes activas y reactivas, respecto de los valores correspondientes al suministro equilibrado:

$$15 \quad \Delta I_{az} = I_{az} - I_{az \min} \quad \Delta I_{rz} = I_{rz} - I_{rz \min}$$

y las variaciones de potencia activa y reactiva de cada fase respecto de las correspondientes al sistema equilibrado:

$$\Delta P_z = P_z - P_{z \min} \quad \Delta Q_z = Q_z - Q_{z \min}$$

- 20 De donde las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y a las cargas reactivas se obtienen, respectivamente, como:

$$A_{pz} = \sqrt{2} \cdot \Delta P_z = \sqrt{2} V_z \cdot \Delta I_{az}$$

$$A_{qz} = \sqrt{2} \cdot \Delta Q_z = \sqrt{2} V_z \cdot \Delta I_{rz}$$

- 25 - Fijar unos valores de referencia máximos para las variaciones de las corrientes activas y reactivas en cada fase (G). La comparación de estos valores ($\Delta I_{a \max}$, $\Delta I_{r \max}$) con las variaciones de corrientes activas de las fases (ΔI_{az} , ΔI_{rz}) determina el funcionamiento o no del compensador, inyectando o no señales de control a los interruptores del circuito de potencia a través del amplificador de potencia (13) del circuito de control o regulador, mostrado en la figura 7.
- 30

- Determinación de las admitancias de cálculo (H). Estas admitancias caracterizan los elementos a los que equivale el compensador durante su funcionamiento y se obtienen como:

$$\bar{Y}_{i1} = j \frac{2}{3\sqrt{3} \cdot V} (\Delta I_{a1} - \Delta I_{a2})$$

$$\bar{Y}_{i2} = j \frac{2}{3\sqrt{3} \cdot V} (\Delta I_{a2} - \Delta I_{a3})$$

$$\bar{Y}_{i3} = j \frac{2}{3\sqrt{3} \cdot V} (\Delta I_{a3} - \Delta I_{a1})$$

$$\bar{Y}_{h1} = \frac{j}{3V} [\sqrt{3}(\Delta I_{a2} - \Delta I_{a3}) + 2\Delta I_{r1} - \Delta I_{r2} - \Delta I_{r3}]$$

$$\bar{Y}_{h2} = \frac{j}{3V} [\sqrt{3}(\Delta I_{a3} - \Delta I_{a1}) - \Delta I_{r1} + 2\Delta I_{r2} - \Delta I_{r3}]$$

$$\bar{Y}_{h3} = \frac{j}{3V} [\sqrt{3}(\Delta I_{a1} - \Delta I_{a2}) - \Delta I_{r1} - \Delta I_{r2} + 2\Delta I_{r3}]$$

- 5 En donde V es el valor eficaz de las tensiones de fase de la red eléctrica, j es la unidad imaginaria y las variaciones de corrientes activas y reactivas de cada fase (ΔI_{az} , ΔI_{rz}).

- 10 Obtención de las corrientes de desequilibrio suministradas por el compensador continuo (J). A partir de los valores de las admitancias expresadas más arriba, las corrientes suministradas por el compensador de desequilibrios continuo se obtienen como:

$$\bar{I}_{c1} = -(\bar{V}_{12} \cdot \bar{Y}_{i1} - \bar{V}_{31} \cdot \bar{Y}_{i3} + \bar{V}_1 \cdot \bar{Y}_{h1})$$

$$\bar{I}_{c2} = -(\bar{V}_{23} \cdot \bar{Y}_{i2} - \bar{V}_{12} \cdot \bar{Y}_{i1} + \bar{V}_2 \cdot \bar{Y}_{h2})$$

$$\bar{I}_{c3} = -(\bar{V}_{31} \cdot \bar{Y}_{i3} - \bar{V}_{23} \cdot \bar{Y}_{i2} + \bar{V}_3 \cdot \bar{Y}_{h3})$$

- 15 Expresiones en las que $\bar{V}_z$ (z=1,2,3) son las tensiones de las fases de la red eléctrica, ($\bar{V}_{12}$, $\bar{V}_{23}$, $\bar{V}_{31}$) son las tensiones de línea de la red eléctrica.

Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran esquemáticamente los circuitos de potencia, y sus elementos integrantes, necesarios para llevar a cabo el

procedimiento de la figura 5. El circuito de control o regulador, mostrado en la figura 7, es útil para la puesta en práctica de los procedimientos mostrados en las figuras 5 y 6. El circuito de control consta del medio de adquisición, formado por unos transductores de medida (10) y un dispositivo de adquisición (11), que debe ser de alta velocidad en el caso del procedimiento indicado en la figura 6. Las señales obtenidas por estos elementos se transmiten al medio de procesamiento (12), que puede ser tanto un DSP como un procesador, o una combinación de ambos. Además, hay una etapa preamplificadora de potencia (13) encargada de suministrar señales eléctricas a los interruptores. Las operaciones del procedimiento descrito más arriba se efectúan en el medio de procesamiento, en este ejemplo de acuerdo con un programa de medida que comprende los siguientes módulos:

- Módulo de adquisición, encargado de adquirir muestras de tensión e intensidad, que se guardan en un vector para cada tensión e intensidad.
- Módulo de análisis, encargado de obtener las matrices, en valor eficaz y en fase, de las tensiones e intensidades, para la frecuencia fundamental, a partir de las muestras adquiridas en el módulo anterior; obteniéndose además los valores eficaces de las intensidades activas y reactivas de cada fase, por integración numérica.
- Módulo de potencias activas y reactivas, encargado de calcular los valores de las potencias activas y reactivas de cada fase, a partir de los valores eficaces de tensiones e intensidades obtenidos en el módulo anterior.
- Módulo de desequilibrios, encargado de obtener las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas a partir de las variaciones de corrientes o de las variaciones de las potencias activas y reactivas de cada fase respecto de los valores correspondientes al sistema equilibrado.
- Módulo de escalón de desequilibrio (únicamente para compensadores discretos), encargado de determinar el número de escalones de activa y de reactiva a utilizar en cada instante, a partir de los valores obtenidos del módulo de desequilibrios y de la potencia fijada para el escalón de activa y de reactiva.

- Módulo de referencia de corrientes (únicamente para compensadores continuos), encargado de comparar las variaciones de corriente activa y reactiva de cada fase con unos valores máximos fijados como referencia.
- Módulo de admitancias, encargado de obtener los valores de las admitancias complejas de los elementos del compensador, que determinan las corrientes suministradas por el compensador.
- Módulo de corrientes suministradas (únicamente para compensadores continuos), encargado de obtener las corrientes de desequilibrio que debe suministrar el compensador, obtenidas a partir del módulo de admitancias.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, caracterizado por que comprende las siguientes operaciones:

5

- Adquisición de señales eléctricas (A) obteniéndose N muestras de tensiones y corrientes de cada fase de la red trifásica, obteniendo unas matrices de valores eficaces (V_z , I_z) y fases iniciales (α_{vz} , α_{iz}) de tensión e intensidad de frecuencia fundamental de cada fase ($z=1,2,3$) de la red eléctrica

10

- Medida de corrientes de las fases (B), de la medida anterior quedan definidos los fasores temporales de frecuencia fundamental de las tensiones y corrientes de las fases $[(\overline{V}_1, \overline{V}_2, \overline{V}_3), (\overline{I}_1, \overline{I}_2, \overline{I}_3)]$, obteniéndose de los mismos las matrices de los valores eficaces de las corrientes activas (I_{a1}, I_{a2}, I_{a3}) y reactivas (I_{r1}, I_{r2}, I_{r3}), de frecuencia fundamental, de las corrientes de las fases ($z=1,2,3$), obtenidas como:

15

$$I_{az} = I_z \cdot \cos(\alpha_{vz} - \alpha_{iz}) \quad I_{rz} = I_z \cdot \sin(\alpha_{vz} - \alpha_{iz})$$

20

- Medida de las potencias activas y reactivas de las fases (C). A partir de los valores de las corrientes activas y reactivas de cada fase, se obtienen las potencias activas y reactivas de cada fase ($z=1,2,3$) como:

$$P_z = V_z \cdot I_{az} \quad Q_z = V_z \cdot I_{rz}$$

25

- Determinación de las potencias de desequilibrio de cada fase, (D)
 - la potencia de desequilibrio debida a las cargas activas de dicha fase, se obtiene por la expresión:

$$A_{pz} = \sqrt{2} \cdot \Delta P_z = \sqrt{2} V_z \cdot \Delta I_{az}$$

donde (ΔI_{az}) representa la variación de la corriente activa y (ΔP_z) la variación de potencia activa respecto del suministro equilibrado,

30

- la potencia de desequilibrio debido a las cargas reactivas de dicha fase se obtiene por la expresión:

$$A_{qz} = \sqrt{2} \cdot \Delta Q_z = \sqrt{2} V_z \cdot \Delta I_{rz}$$

donde (ΔI_{rz}) representa la variación de la corriente reactiva y (ΔQ_z) la variación de la potencia reactiva en cada fase de la red eléctrica respecto de los valores correspondientes al suministro equilibrado,

- 5 y la potencia de desequilibrio de cada fase de la red eléctrica se obtiene por cualquiera de las siguientes expresiones:

$$A_z = \sqrt{A_{pz}^2 + A_{qz}^2} = \sqrt{2 \cdot (\Delta P_z^2 + \Delta Q_z^2)} = \sqrt{2} V_z^2 \sqrt{\Delta I_{az}^2 + \Delta I_{rz}^2}$$

- Establecimiento de un valor de referencia como valor tal que si se supera, un
10 circuito de control del compensador actúa sobre unos interruptores de un circuito de potencia.
- Cálculo de las admitancias de los elementos del compensador de desequilibrio.

- 15 2.- Procedimiento para la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, según la reivindicación 1, caracterizado porque, las variaciones de corrientes activas y reactivas de cada fase, necesarias determinar las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas de cada fase de la red eléctrica, se obtienen por la diferencia entre la corriente activa y
20 reactiva de cada fase (I_{az} , I_{rz}) y un valor mínimo de estas corrientes en la red eléctrica ($I_{az \min}$, $I_{rz \min}$):

$$\Delta I_{az} = I_{az} - I_{az \min} \quad \Delta I_{rz} = I_{rz} - I_{rz \min}$$

- 25 3.- Procedimiento para la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, según la reivindicación 1, caracterizado porque las variaciones de potencias activas y reactivas de cada fase, necesarias para determinar las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas de cada fase de la red eléctrica, se obtienen por la diferencia entre la potencia activa y reactiva de cada fase (P_z , Q_z) y su valor mínimo ($P_{z \min}$, $Q_{z \min}$):

30
$$\Delta P_z = P_z - P_{z \min} \quad \Delta Q_z = Q_z - Q_{z \min}$$

4.- Procedimiento para la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, según la reivindicación 2 ó 3, caracterizado porque para un compensador de desequilibrio variable a escalones, el valor de referencia es el valor de un escalón de desequilibrio de las cargas activas y reactivas ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$), siendo definido como la menor potencia de desequilibrio que puede suministrar el compensador de desequilibrio, continuando el procedimiento con las siguientes etapas:

- Determinación del número de escalones de activa y de reactiva usados en cada fase (E), una vez fijadas la potencia del escalón de activa y de reactiva ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$), donde el número de escalones se define como la parte entera del valor que, respectivamente, resulta de dividir las potencias de desequilibrio máximas debidas a las cargas activas y reactivas ($A_{p \text{ max}}$, $A_{q \text{ max}}$), que pueden presentarse en cualquier fase de la red eléctrica, y el valor del escalón de desequilibrio de las cargas activas y reactivas ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$):

$$N_p = \text{ent} \left(\frac{A_{p \text{ max}}}{A_{p \text{ esc}}} \right) \quad N_q = \text{ent} \left(\frac{A_{q \text{ max}}}{A_{q \text{ esc}}} \right)$$

- Determinación del número de escalones de activa y reactiva que deben ser conectados en cada (N_{pz} , N_{qz}) durante el funcionamiento del compensador obtenidos como la parte entera del cociente entre las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas (A_{pz} , A_{qz}), medidas en cualquier instante y la potencia del escalón ($A_{p \text{ esc}}$, $A_{q \text{ esc}}$):

$$N_{pz} = \text{ent} \left(\frac{A_{pz}}{A_{p \text{ esc}}} \right) \quad N_{qz} = \text{ent} \left(\frac{A_{qz}}{A_{q \text{ esc}}} \right)$$

- Cálculo de las potencias de desequilibrio suministradas

$$A_{pz}^r = N_{pz} \cdot A_{p \text{ esc}} \quad A_{qz}^r = N_{qz} \cdot A_{q \text{ esc}}$$

5.- Procedimiento para la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, según la reivindicación 4 caracterizado por que para el cálculo

de las admitancias de los elementos del compensador de desequilibrio, se emplean las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}
 \bar{Y}_{i1} &= j \frac{2}{3\sqrt{6}V^2} (A_{p1}^r - A_{p2}^r) \\
 \bar{Y}_{i2} &= j \frac{2}{3\sqrt{6}V^2} (A_{p2}^r - A_{p3}^r) \\
 \bar{Y}_{i3} &= j \frac{2}{3\sqrt{6}V^2} (A_{p3}^r - A_{p1}^r) \\
 \bar{Y}_{h1} &= j \frac{1}{3\sqrt{2}V^2} [\sqrt{3}(A_{p2}^r - A_{p3}^r) + 2A_{q1}^r - A_{q2}^r - A_{q3}^r] \\
 \bar{Y}_{h2} &= j \frac{1}{3\sqrt{2}V^2} [\sqrt{3}(A_{p3}^r - A_{p1}^r) - A_{q1}^r + 2A_{q2}^r - A_{q3}^r] \\
 \bar{Y}_{h3} &= j \frac{1}{3\sqrt{2}V^2} [\sqrt{3}(A_{p1}^r - A_{p2}^r) - A_{q1}^r - A_{q2}^r + 2A_{q3}^r]
 \end{aligned}$$

En donde A_{pz}^r, A_{qz}^r son los valores reales de las potencias de desequilibrio suministradas por el compensador, V es el valor eficaz de las tensiones simples de las fases y j es la unidad imaginaria.

6.- Procedimiento para la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, según la reivindicación 4 caracterizado por que en el caso de que los escalones de activa y de reactiva están separados, las impedancias complejas de cada escalón se obtienen como:

- Escalones de activa:

$$\begin{aligned}
 \bar{Z}_{h1p} &= \infty & \bar{Z}_{i1} &= \frac{3}{2} \bar{Z}_{h3} \\
 \bar{Z}_{h2p} &= j \frac{\sqrt{6}V^2}{A_{p \text{ esc}}} & \bar{Z}_{i2} &= \infty \\
 \bar{Z}_{h3p} &= -j \frac{\sqrt{6}V^2}{A_{p \text{ esc}}} & \bar{Z}_{i3} &= \frac{3}{2} \bar{Z}_{h2}
 \end{aligned}$$

- Escalones de reactiva:

$$\bar{Z}_{h1q} = -j \frac{3\sqrt{2}}{2} \frac{V^2}{A_{q \text{ esc}}}$$

$$\bar{Z}_{h2q} = j3\sqrt{2} \frac{V^2}{A_{q \text{ esc}}}$$

$$\bar{Z}_{h3q} = j3\sqrt{2} \frac{V^2}{A_{q \text{ esc}}}$$

El número de escalones de activa y de reactiva a conectar en esta última realización preferida está definido por N_{pz} y N_{qz} .

- 5 7.- Procedimiento para la compensación de los desequilibrios en el suministro de energía eléctrica, según la reivindicación 2 ó 3 caracterizado por que en el caso de un compensador variable, el valor de referencia a establecer son los valores de referencia máximos para las variaciones de las corrientes activa ($\Delta I_{a \text{ max}}$) y reactiva ($\Delta I_{r \text{ max}}$), de tal forma que si las variaciones de corrientes
- 10 activa y reactiva de cada fase (ΔI_{az} , ΔI_{rz}), obtenidas, el circuito de control del compensador continuo actúe sobre los interruptores del circuito de potencia, y donde la determinación de las admitancias de cálculo se obtiene como:

$$\bar{Y}_{i1} = j \frac{2}{3\sqrt{3} \cdot V} (\Delta I_{a1} - \Delta I_{a2})$$

15

$$\bar{Y}_{i2} = j \frac{2}{3\sqrt{3} \cdot V} (\Delta I_{a2} - \Delta I_{a3})$$

$$\bar{Y}_{i3} = j \frac{2}{3\sqrt{3} \cdot V} (\Delta I_{a3} - \Delta I_{a1})$$

$$\bar{Y}_{h1} = \frac{j}{3V} \left[\sqrt{3}(\Delta I_{a2} - \Delta I_{a3}) + 2\Delta I_{r1} - \Delta I_{r2} - \Delta I_{r3} \right]$$

$$\bar{Y}_{h2} = \frac{j}{3V} \left[\sqrt{3}(\Delta I_{a3} - \Delta I_{a1}) - \Delta I_{r1} + 2\Delta I_{r2} - \Delta I_{r3} \right]$$

$$\bar{Y}_{h3} = \frac{j}{3V} \left[\sqrt{3}(\Delta I_{a1} - \Delta I_{a2}) - \Delta I_{r1} - \Delta I_{r2} + 2\Delta I_{r3} \right]$$

en donde V es el valor eficaz de las tensiones de fase de la red eléctrica, j es la unidad imaginaria y las variaciones de corrientes activas y reactivas de cada fase (ΔI_{az} , ΔI_{rz}).

- 5 y en donde las las corrientes de desequilibrio suministradas por el compensador continuo (J) se obtienen a partir de los valores de las admitancias expresadas más arriba, y según las siguientes expresiones:

$$\bar{I}_{c1} = -(\bar{V}_{12} \cdot \bar{Y}_{i1} - \bar{V}_{31} \cdot \bar{Y}_{i3} + \bar{V}_1 \cdot \bar{Y}_{h1})$$

$$\bar{I}_{c2} = -(\bar{V}_{23} \cdot \bar{Y}_{i2} - \bar{V}_{12} \cdot \bar{Y}_{i1} + \bar{V}_2 \cdot \bar{Y}_{h2})$$

$$\bar{I}_{c3} = -(\bar{V}_{31} \cdot \bar{Y}_{i3} - \bar{V}_{23} \cdot \bar{Y}_{i2} + \bar{V}_3 \cdot \bar{Y}_{h3})$$

- Expresiones en las que $\bar{V}_z$ ($z=1,2,3$) son las tensiones de las fases de la red eléctrica, ($\bar{V}_{12}, \bar{V}_{23}, \bar{V}_{31}$) son las tensiones de línea de la red eléctrica.
- 10

8.- Dispositivo compensador para la puesta en práctica del procedimiento anteriormente reivindicado caracterizado porque comprende:

- un circuito de potencia formado por bobinas y condensadores variables,
- 15 - un circuito de control que está formado por:
 - un sistema físico de medida y adquisición de señales eléctricas, que a su vez se compone de:
 -
 - 20 - Sensores de medida de tensión e intensidad del sistema eléctrico, encargados de medir los valores instantáneos de dichas variables.
 - Acondicionadores de señal que adaptan la corriente del secundario de cada sensor, al nivel de tensión aplicable a las
 - 25 - entradas analógicas de la tarjeta de adquisición.
 - Tarjeta de adquisición, encargada de convertir las señales analógicas de tensión e intensidad, en una serie de muestras discretas que se utilizan como entrada en el programa de medida de la potencia eléctrica.
 - 30 - Sistema procesador, con una placa base en la que se coloca la tarjeta de adquisición para que se puedan intercambiar las

muestras discretas de las señales de tensión e intensidad, con el Programa de medida de la potencia eléctrica.

- un programa de medida de los desequilibrios que comprende los siguientes módulos:

- **Módulo de adquisición**, encargado de adquirir muestras de tensión e intensidad, que se guardan en un vector para cada tensión e intensidad.

- **Módulo de análisis**, encargado de obtener las matrices, en valor eficaz y en fase, de las tensiones e intensidades, para la frecuencia fundamental, a partir de las muestras adquiridas en el módulo anterior; obteniéndose además los valores eficaces de las intensidades activas y reactivas de cada fase, por integración numérica.

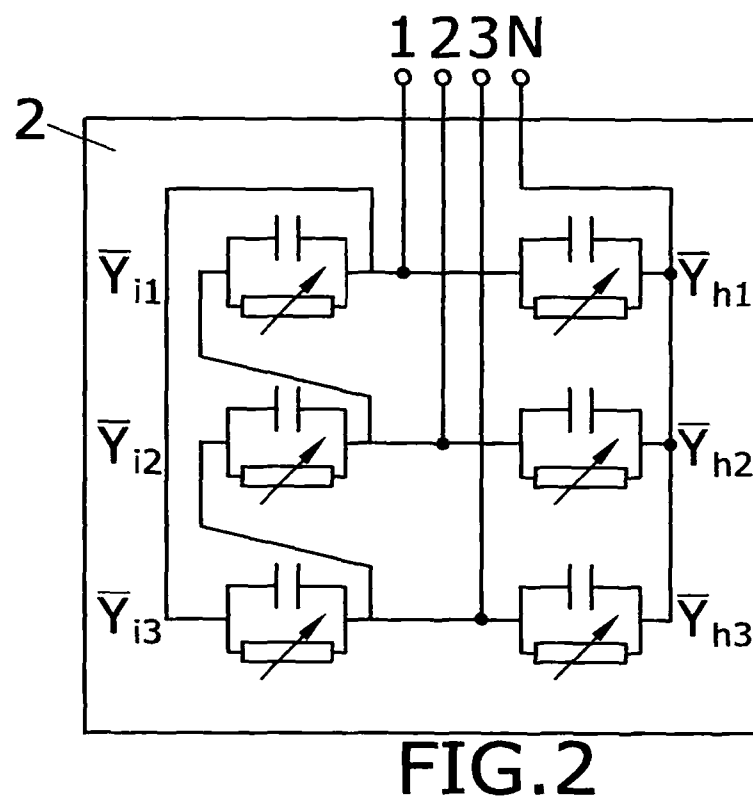
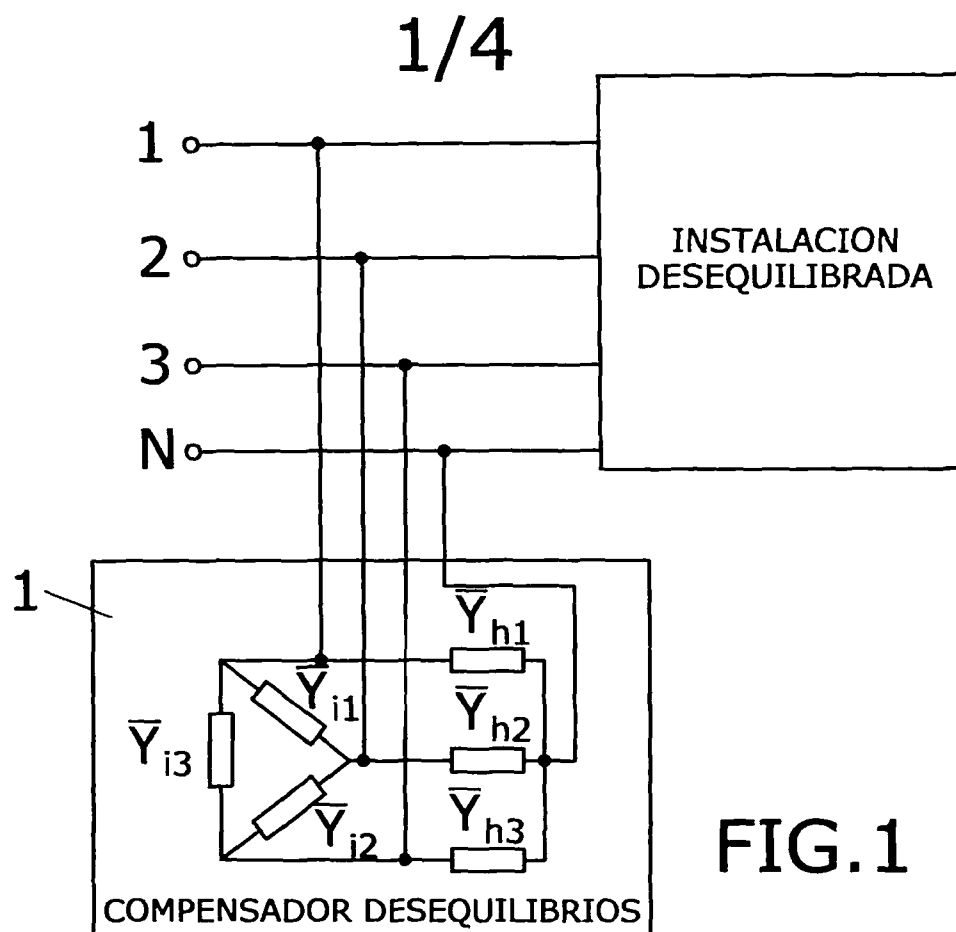
- **Módulo de potencias activas y reactivas**, encargado de calcular los valores de las potencias activas y reactivas de cada fase, a partir de los valores eficaces de tensiones e intensidades obtenidos en el módulo anterior.

- **Módulo de desequilibrios**, encargado de obtener las potencias de desequilibrio debidas a las cargas activas y reactivas a partir de las variaciones de corrientes o de las variaciones de las potencias activas y reactivas de cada fase respecto de los valores correspondientes al sistema equilibrado.

- **Módulo de escalón de desequilibrio (únicamente para compensadores discretos)**, encargado de determinar el número de escalones de activa y de reactiva a utilizar en cada instante, a partir de los valores obtenidos del módulo de desequilibrios y de la potencia fijada para el escalón de activa y de reactiva.

- **Módulo de referencia de corrientes (únicamente para compensadores continuos)**, encargado de comparar las variaciones de corriente activa y reactiva de cada fase con unos valores máximos fijados como referencia.

- **Módulo de admitancias**, encargado de obtener los valores de las admitancias complejas de los elementos del compensador, que determinan las corrientes suministradas por el compensador.
 - **Módulo de corrientes suministradas (únicamente para compensadores continuos)**, encargado de obtener las corrientes de desequilibrio que debe suministrar el compensador, obtenidas a partir del módulo de admitancias.
- 5
- 10 9.- Dispositivo compensador según la reivindicación 8 caracterizado porque las bobinas y condensadores del circuito de potencia están obtenidos a partir de un condensador fijo y una bobina variable asociados en serie o paralelo.
- 15 10.- Dispositivo compensador según la reivindicación 8 caracterizado porque las bobinas y condensadores del circuito de potencia para un compensador discreto a escalones , las bobinas y condensadores se conectan y desconectan a voluntad mediante contactores o interruptores estáticos.



2/4

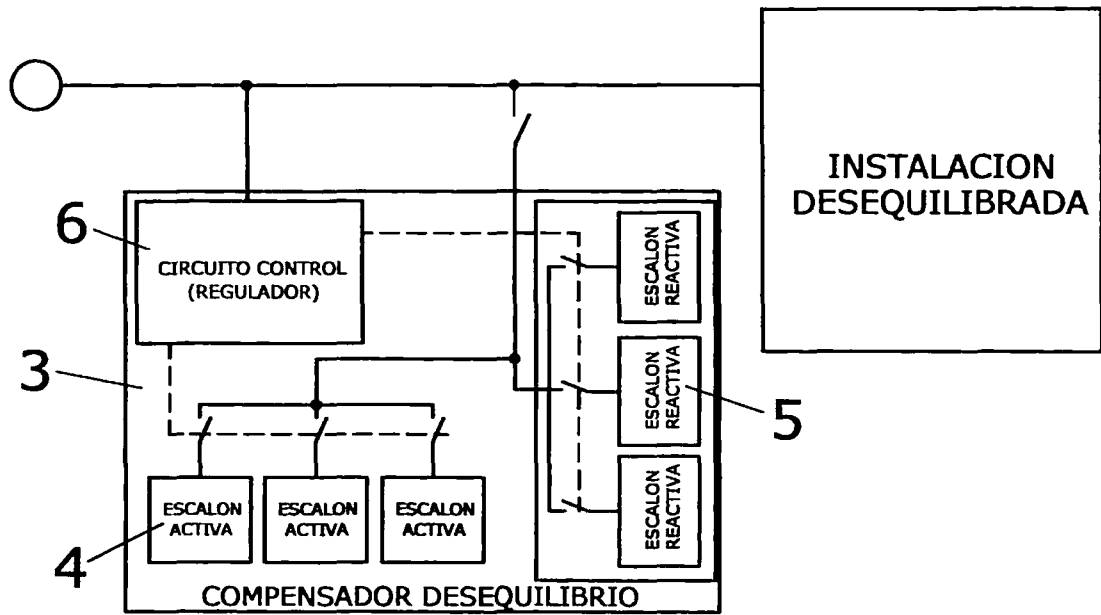


FIG. 3

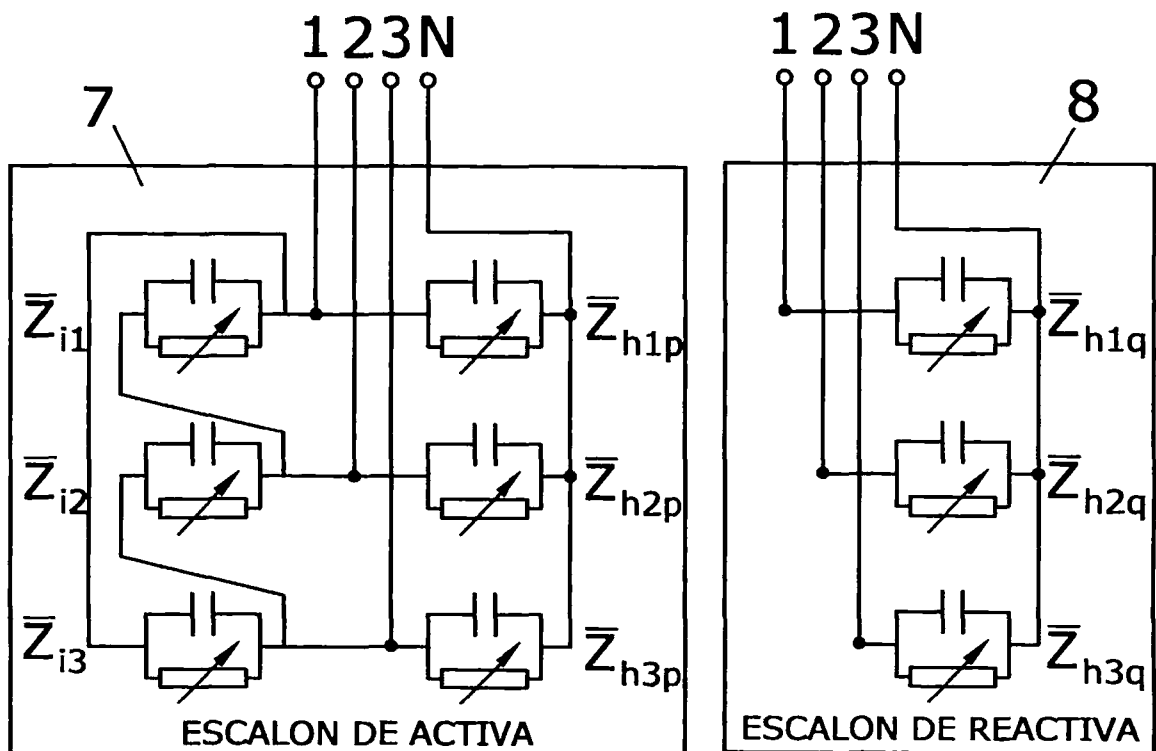
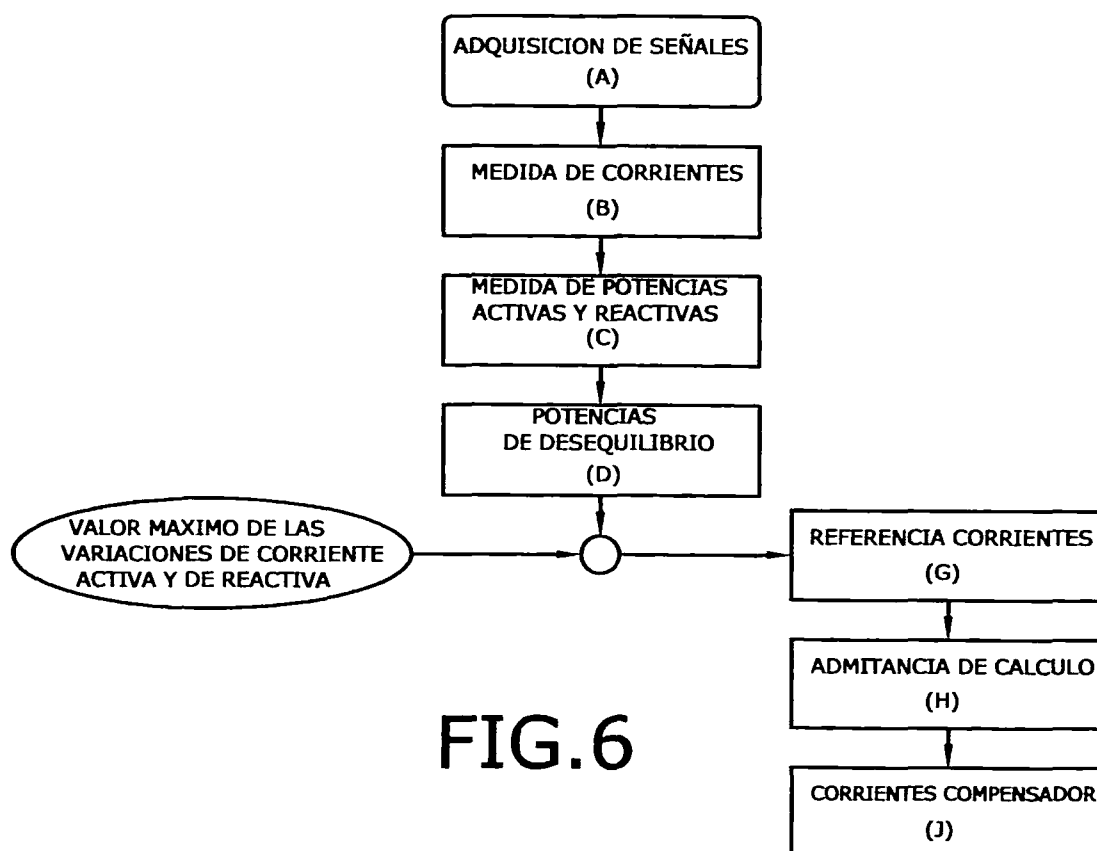
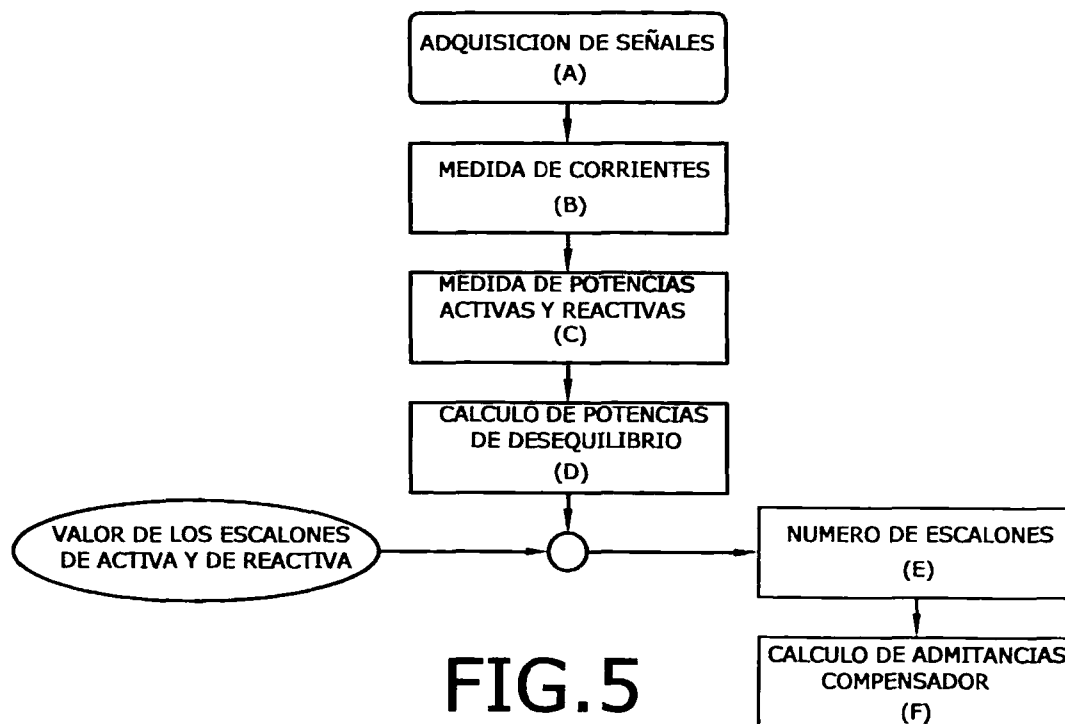


FIG. 4

3/4



4/4

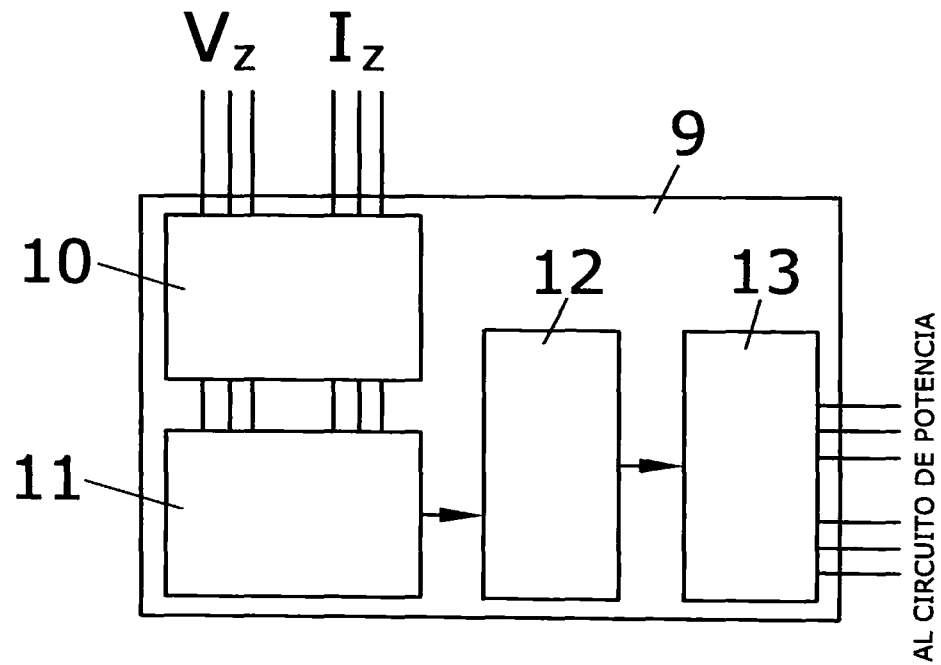


FIG.7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ ES 2010/070477

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/18 (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)

H02J+

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)

INVENES, EPODOC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Lin et al. "A Real-Time Calculation Method for Optimal Reactive Power Compensator." IEEE Transactions on Power Systems, vol. 4, n° 2. May of 1989.	1-7
A	US 3942100 A (KÄUFERLE et al.) 02.03.1976, the whole document.	8-10
A	Fang et al. "A Universal STATCOM with Delta-Connected Cascade Multilevel Inverter" 35 ^a Conference Annual of IEEE Power Electronics Specialists, 2004.	1-7

☐ 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

06 October 2010 (06.10.2010)

Date of mailing of the international search report

(13/10/2010)

Name and mailing address of the ISA/
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.
Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

P. López Sabater

Telephone No. +34 91 349 53 85

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2010/070477

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3942100 A	02.03.1976	DE 2318952 AC FR 2221838 AB CH 556105 A JP 50000346 A GB 1456575 A CA 1031826 A	19.09.1974 11.10.1974 15.11.1974 06.01.1975 24.11.1976 23.05.1978

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°
PCT/ ES 2010/070477

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

H02J 3/18 (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)

H02J+

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)

INVENES, EPODOC

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
A	Lin et al. "A Real-Time Calculation Method for Optimal Reactive Power Compensator." IEEE Transactions on Power Systems, vol. 4, n° 2. Mayo de 1989.	1-7
A	US 3942100 A (KÄUFERLE et al.) 02.03.1976, todo el documento.	8-10
A	Fang et al. "A Universal STATCOM with Delta-Connected Cascade Multilevel Inverter" 35ª Conferencia Anual de IEEE Power Electronics Specialists, 2004.	1-7

☐ 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.

06 Octubre 2010 (06.10.2010)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

13-OCTUBRE-2010 (13/10/2010)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.
N° de fax 34 91 3495304

Funcionario autorizado

P. López Sabater

N° de teléfono +34 91 349 53 85

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES 2010/070477

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US 3942100 A	02.03.1976	DE 2318952 AC FR 2221838 AB CH 556105 A JP 50000346 A GB 1456575 A CA 1031826 A	19.09.1974 11.10.1974 15.11.1974 06.01.1975 24.11.1976 23.05.1978