

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

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intellectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
24 de Agosto de 2006 (24.08.2006)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2006/087402 A2

(51) Clasificación Internacional de Patentes: Sin clasificar

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2006/000059

(22) Fecha de presentación internacional:
14 de Febrero de 2006 (14.02.2006)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P200500404 15 de Febrero de 2005 (15.02.2005) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):
UNIVERSIDAD DE SEVILLA [ES/ES]; OTRI-Univer-
sidad de Sevilla, Pabellón De Brasil, Paseo De Las Delicias
S/n, E-41012 Sevilla (ES).

(72) Inventores; e

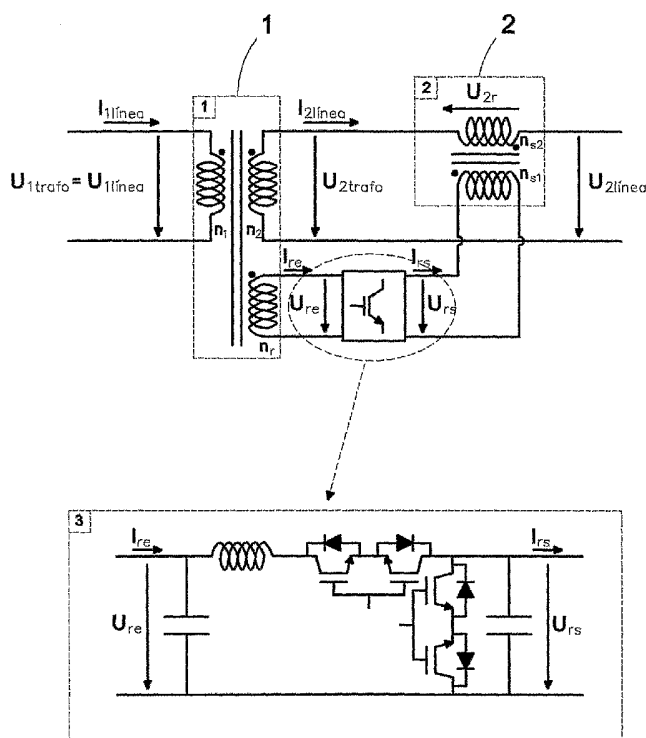
(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **GÓMEZ
EXPÓSITO, Antonio** [ES/ES]; Dpto. Ingeniería Eléc-
trica, Ets Ingenieros Industriales, Camino De Los Des-
cubrimientos s/n, E-41092 Sevilla (ES). **RUIZ GARCÍA,
Octavio, Manuel** [ES/ES]; Dpto. Ingeniería Eléctrica, Ets
Ingenieros Industriales, Camino De Los Descubrimientos
S/n, E-41092 Sevilla (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,
para toda clase de protección nacional admisible): AE,
AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID,
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD FOR THE CONTINUOUS REGULATION OF VOLTAGE RATIO IN TRANSFORMERS

(54) Título: PROCEDIMIENTO DE REGULACIÓN CONTINUA DE LA RELACIÓN DE TENSIONES EN TRANSFORMA-
DORES



TRAFO = TRANSFORMER
LÍNEA = LINE

mecánicamente.

(57) Abstract: The invention relates to a method of regulating the output voltage from power transformers commonly used in electrical transport and distribution engineering. The inventive method is performed using a single-phase or three-phase power transformer having a series regulating transformer connected thereto and the electronic voltage-regulating device. With said method, a continuously-regulated voltage is obtained at the final output of the aforementioned devices, which is maintained fixed when the existing voltage at the input thereof is within a determined variation range, without incorporating mechanical elements that can generate stress and wear in standard devices, as well as eliminating the problems associated with the electric arc that is produced upon opening circuits mechanically.

(57) Resumen: La invención presentada es un procedi-
miento para regular la tensión de salida de los transforma-
dores de potencia, comúnmente utilizados en la ingeniería
del transporte y distribución eléctrica que se lleva a cabo a
partir de un transformador de potencia monofásica o trifá-
sica al que se conecta un transformador serie de regulación
y el equipo electrónico de regulación de tensiones. Con el
procedimiento que se propone se consigue a la salida final
de los equipos una tensión regulada de forma continua que
se mantiene fija cuando la tensión existente en la entrada
de los mismos permanece dentro de un determinado rango
de variación, sin incorporar los elementos mecánicos que
provocan las fatigas y el desgaste de los equipos con-
vencionales, eliminándose, además, los problemas relaciona-
dos con el arco eléctrico que se produce al abrir circuitos

WO 2006/087402 A2



SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

Publicada:

— *sin informe de búsqueda internacional, será publicada nuevamente cuando se reciba dicho informe*

Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.

Título

Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores

5 Objeto

La presente invención según se expresa en el enunciado de esta Memoria descriptiva, se refiere a un procedimiento que permite regular de forma continua la relación de tensiones en transformadores sin elementos mecánicos, basándose en la
10 utilización de sistemas electrónicos y reduciendo el número de válvulas semiconductoras.

La presente invención encuentra su campo de aplicación en sector eléctrico, más concretamente en los dispositivos de regulación de tensiones de los transformadores de potencia. Dentro de este campo,
15 puede aplicarse a cualquier tipo de transformador de potencia, bien sea de distribución, transporte, generación u otros usos especiales.

Estado de la técnica

Históricamente, en la expansión de las redes de transporte y
20 distribución de energía eléctrica, se ha venido observando la necesidad de utilizar métodos que puedan paliar las diferentes variaciones de tensión existentes en las líneas eléctricas en función del nivel de carga a que se encuentran sometidas. Esta necesidad se basa, no sólo en el hecho de mantener las tensiones de los distintos
25 puntos de las redes eléctricas dentro de los márgenes regulados por los distintos estándares y normativas ("Characteristics of voltage delivered by generic distribution networks", European Standard EN50160, 2001), sino también en reducir las pérdidas técnicas debidas al movimiento de la energía eléctrica en sí mismo. Uno de
30 los equipos que más ha entrado en juego en este ámbito, ha sido el del regulador de tensión de los transformadores de potencia utilizando cambiadores de tomas bajo carga. Estos equipos permiten modificar la relación de tensiones existente en un transformador mediante la variación de la relación de espiras del mismo utilizando
35 un dispositivo mecánico.

Los cambiadores de tomas bajo carga son los dispositivos más utilizados como reguladores de tensión en las redes eléctricas de transporte y distribución, tanto en alta como en media tensión, desde los inicios de implantación de estas redes, tal y como las entendemos hoy día, hasta la actualidad. Se trata de unos equipos mecánicos muy robustos y que introducen unas pérdidas despreciables en la explotación de redes eléctricas. Por el contrario, tienen el problema de que al tratarse de interruptores mecánicos que abren y cierran circuitos, son dispositivos lentos con poca capacidad de respuesta ante cambios repentinos en las condiciones de la red; además, sus posibilidades de regulación se encuentran limitadas a una serie de escalones. Ocurre también, que al objeto de minimizar los efectos producidos por el arco eléctrico ocurrido durante la apertura de los circuitos, estos equipos emplean un sistema de resortes que provocan que los tiempos de operación de la conmutación final de los circuitos sean del orden de 60ms (los tiempos de operación totales son del orden de varios segundos), provocando una gran fatiga mecánica a los elementos que componen los reguladores. El efecto combinado de la aparición de arcos eléctricos y de la fatiga mecánica debida a su propio funcionamiento provocan que estos equipos tengan un elevado mantenimiento y sean una de las zonas más débiles de las redes eléctricas.

Los cambiadores de tomas bajo carga apenas han sufrido modificaciones desde sus inicios, hace casi un siglo; aunque últimamente, hay verdaderos intentos de mejorarlos tratando de reducir o eliminar los arcos eléctricos producidos durante su funcionamiento, así como sus efectos. Además de los diferentes estudios en materiales que puedan verse poco afectados por los arcos eléctricos, se está recurriendo a la utilización de interruptores de vacío y a la de esquemas basados en semiconductores, de forma que sirvan de apoyo al dispositivo mecánico, realizándose las operaciones de apertura y cierre de los circuitos en el interior de los mismos (H. Jiang et al. "Fast Response GTO Assisted Novel Tap Changer", IEEE Transactions on Power Delivery, pp 111-115, January 2001).

Existen, también, estudios acerca de nuevos procedimientos de regulación basados exclusivamente en semiconductores (P. Bawer et al, "Solid State Tap Changers for Utility Transformers", 0-7803-5543-6/99 IEEE pp 897-902; O. Demirci et al, "A new Approach to Solid-State On-Load Tap Changing Transformers", IEEE Transactions on Power Delivery, pp 1-10. Jun. 1997). Estos métodos, no sólo eliminan el problema existente debido al arco eléctrico, sino que aumentan notablemente la velocidad de respuesta del regulador al eliminar los componentes mecánicos. Se mantiene, por otro lado, la restricción existente en cuanto a la limitación de escalones y se emplea un elevado número de semiconductores, implicando un tamaño y unas pérdidas considerables que imposibilitan su implantación a nivel industrial, teniendo en cuenta el estado de la técnica de la electrónica de potencia existente en la actualidad.

En el caso de transformaciones de media a baja tensión, no suelen utilizarse cambiadores de tomas bajo carga, sino que sólo se utiliza la posibilidad de realizar variaciones de la relación de tensiones con el transformador sin carga. En estos casos se sitúa el conmutador en la posición que a priori se estime más ventajosa en función de las variaciones esperables en la red de media tensión y de la ubicación del transformador en la misma.

En este último caso, existe la posibilidad de incluir algunos reguladores de tensión, basados en interruptores o contactores, independientes de los transformadores, de forma que permiten elevar la tensión con un pequeño número de escalones. También se conocen algunos estudios acerca de equipos basados exclusivamente en semiconductores (O.M. Ruiz, A. Gómez. "Solid-State Voltage Regulator for Dispersed Rural Distribution Systems", IEEE Bologna PowerTech, Jun. 2003).

Una vez evaluado el estado de la técnica en la materia el "Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores" aporta la ventaja de que los sistemas electrónicos utilizados en la regulación se acoplan mediante conexiones electromagnéticas que permiten reducir las tensiones e intensidades aplicadas a los semiconductores, minimizándose las pérdidas y el

desgaste de dichos equipos. Así, con la aplicación de la electrónica a una fracción de las tensiones de red y de las intensidades suministradas por el transformador, la distorsión armónica que pueda introducirse en las corrientes y tensiones globales se encuentra muy
5 reducida.

Por otra lado, al no incluir elementos mecánicos, se puede disminuir considerablemente los tiempos de respuesta del regulador de tensiones, aumentando el número de operaciones permitidas por el equipo hasta el extremo de llegar a conseguirse una regulación
10 continua. Gracias a esta posibilidad, no sólo se aumenta el nivel de calidad de suministro de la energía eléctrica al facilitar un mayor nivel de control, sino que se pueden reducir las fluctuaciones de tensión debidas a clientes con variaciones violentas en sus solicitudes de energía eléctrica, como puede ser el caso de los
15 hornos de arco, ferrocarriles de alta velocidad, algunos cogeneradores, etcétera. También es posible asegurar unos niveles de tensión adecuados a los clientes que se conecten en baja tensión reduciéndose, e incluso eliminándose, las fluctuaciones que puedan existir en la alimentación a media tensión.

Una ventaja añadida al regulador que se propone con la presente invención es que al realizar una regulación independiente por fase es posible equilibrar las tensiones de salida, en los casos en que las tensiones de red llegan desequilibradas o una carga desequilibrada provoque desequilibrios en la tensión de salida.
20

Por último, es importante destacar que la técnica utilizada en la conexión del equipo electrónico no va a comprometer, ante una avería de los semiconductores, la continuidad eléctrica entre las redes que conecta el transformador.
25

Descripción de la invención

El "Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones
5 en transformadores" se lleva a cabo a partir de un transformador de potencia monofásico o trifásico al que se conecta un transformador serie de regulación y el equipo electrónico de regulación de tensiones.

El objetivo perseguido con este procedimiento es el de obtener en la
10 salida final de los equipos una tensión, regulada de forma continua de manera que pueda mantenerse fija cuando la tensión existente en la entrada de los mismos, permanezca dentro de un determinado rango de variación.

En concreto en el caso de transformadores de potencia monofásicos
15 se puede realizar según configuración con regulación en el secundario o en el primario, haciendo uso de un equipo electrónico que, a través de un transformador serie inyecta una tensión regulada que se añade o sustrae a la existente en el secundario o primario del transformador de potencia respectivamente.

20 El dispositivo electrónico puede ser un chopper reductor, aunque podría utilizarse cualquier otra configuración. La elección de sistemas electrónicos basados en la conmutación de dispositivos, como el chopper de alterna reductor, se justifica por su capacidad de generar idealmente una tensión de salida controlada de forma
25 continua en función de la tensión de entrada utilizando un número mínimo de semiconductores que permiten conseguir esquemas compactos con pérdidas reducidas.

El esquema de conexiones utilizado en el transformador regulador se realiza de forma que las tensiones e intensidades aplicadas a los
30 dispositivos electrónicos sean lo más reducidas posible. Además, si el sistema electrónico sólo se aplica a la fracción de tensión regulada, los componentes armónicos introducidos por la utilización de elementos electrónicos no lineales se aplican sólo a dicha fracción de tensión.

35

Aumento del margen de regulación. Inversor.

Introduciendo un sistema inversor realizado mediante contactores, triacs, o cualquier dispositivo de funcionamiento similar se aumenta al doble el margen de regulación del procedimiento.

- 5 Con el sistema inversor al realizar la operación de cambio de sentido, la tensión inyectada por el devanado serie, se resta a la existente en la red. De esta forma, si elegimos unas relaciones de espiras adecuadas teniendo en cuenta este nuevo efecto, se dobla el margen de regulación posible o, en su defecto, se reduce a la mitad la potencia a controlar por la electrónica y la inyección armónica debida
10 a la utilización de la misma.

- Realizando la conmutación de los interruptores en los instantes en que apenas pasa intensidad por los mismos, no es necesario disponer de dispositivos con un elevado poder de corte, ni de
15 sistemas que ayuden a reducir o eliminar los posibles arcos eléctricos que suelen producirse en la utilización de interruptores.

Reducción de potencia en el sistema electrónico. Reducción de la componente armónica.

20

Existen casos en los que se puede pretender utilizar un sistema electrónico con semiconductores de menor potencia nominal que la que puede circular debido a la regulación, como pueden ser los casos de transformadores de potencias elevadas.

- 25 Así, en el caso de regulación en el secundario del transformador de potencia, introduciendo varios primarios, la corriente existente en cada arrollamiento queda dividida entre los distintos bloques de semiconductores dispuestos en el primario del transformador. Haciendo cruzar adecuadamente los instantes de apertura y cierre de
30 los interruptores que componen cada uno de los choppers se consigue, además reducir los armónicos inyectados.

Con la configuración propuesta si se desea dividir la intensidad por n , será necesario utilizar n choppers y n devanados primarios en el transformador serie.

Del mismo modo se puede realizar una configuración con regulación en el primario del transformador de potencia.

Realización con un único núcleo magnético.

5 Para reducir el tamaño del equipo, se pueden montar los transformadores de potencia y de regulación sobre un único núcleo magnético tanto en esquemas monofásicos como trifásicos.

 Así, en el caso de un transformador de potencia monofásico, el núcleo magnético se compone de una ventana de regulación y otra
10 ventana de transformación; de forma que la ventana de transformación es la que transforma la potencia y la ventana de regulación ajusta la tensión de salida a su valor deseado, siempre que la tensión existente en el secundario sea soportable por la electrónica.

15 Es decir, en los transformadores de potencia monofásicos con la configuración de un único núcleo magnético con regulación tanto en el secundario como en el primario la ventana de transformación corresponde al transformador de potencia, mientras que la ventana de regulación corresponde al transformador serie de regulación. En
20 ambos casos de regulación, el sistema electrónico se conecta directamente al secundario y la amplitud de la tensión de entrada a la ventana de regulación, es regulada por el sistema electrónico.

 Así, la ventana de transformación, con n_1 y n_2 espiras, y la ventana de regulación, con n_{s1} y n_{s2} espiras, actúan como sendos
25 transformadores de potencia independientes con unos flujos magnéticos Φ_t y Φ_r , respectivamente. En la columna magnética que pertenece a ambas ventanas, el flujo magnético que circula por la misma se obtiene de $\Phi_t - \Phi_r$.

Descripción de las figuras

A continuación para facilitar una mejor comprensión de esta memoria descriptiva y formando parte integrante de la misma, se acompaña
5 unas figuras en la que con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado lo siguiente:

- 10 ■ Figura 1.- "Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores" con regulación en el secundario.
- Figura 2 – "Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores" con regulación en el primario.
- 15 ■ Figura 3a – "Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores" con conexión del equipo electrónico desde una toma del transformador de potencia.
- Figura 3b – "Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores" con conexión del equipo electrónico desde el primario del transformador de potencia.
- 20 ■ Figura 3c – "Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores" con conexión del equipo electrónico desde el secundario del transformador de potencia.
- 25 ■ Figura 3d – "Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores" con conexión de equipo electrónico desde la línea de salida.
- Figura 4a – Chópers reductores según conexión en triángulo para transformadores trifásicos.
- 30 ■ Figura 4b – Chópers reductores según conexión en estrella para transformadores trifásicos.
- Figura 4c – Chópers reductores según conexión en V para transformadores trifásicos.
- 35 ■ Figura 5a – Esquema de interruptores que permite la realización del sistema inversor en posición desactivado.

- Figura 5b – Esquema de interruptores que permite la realización del sistema inversor en posición activado.
- Figura 6 – Dos choppers y dos devanados primarios en el transformador serie.
- 5 ▪ Figura 7a – Ejemplo de realización de conexiones utilizando un núcleo de dos ventanas con regulación en el secundario.
- Figura 7b – Ejemplo de realización de conexiones utilizando un núcleo de dos ventanas con regulación en el primario.
- 10 ▪ Figura 8 – Ejemplo de realización de conexiones utilizando un núcleo de dos ventanas con regulación en el primario para transformadores trifásicos

En ellas se numeran los siguientes detalles:

1. Transformador de potencia formado por tres devanados.
- 15 2. Transformador serie de regulación formado por dos devanados.
3. Equipo electrónico de regulación de tensiones.
4. Ventana de regulación.
5. Ventana de transformación.

Ejemplo de realización preferente

A modo de ejemplo de realización preferente de la invención el "Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores" se puede llevar a cabo según regulación en el secundario tal como se muestra en el esquema representado en la figura 1 o en su simétrico según regulación en el primario, representado en la figura 2.

El transformador de potencia (1) se compone de tres devanados. El devanado n_1 define el primario del transformador y posee n_1 espiras; el n_2 define el secundario con n_2 espiras y el n_r define el devanado de regulación del transformador de potencia, con n_r espiras.

El objetivo perseguido con este procedimiento es el de obtener en la salida de los equipos una tensión, $U_{2línea}$, regulada de forma continua de manera que pueda mantenerse fija cuando la tensión existente en la entrada, $U_{1línea}$, permanezca dentro de un determinado rango de variación. Para ello, se va a utilizar un equipo electrónico que, a través de un transformador serie (2), formado por dos devanados, n_{s1} y n_{s2} , con n_{s1} y n_{s2} espiras respectivamente inyecte una tensión regulada que se añada o sustraiga a la existente en uno de los lados del transformador.

Observando la figura 1, se tiene que la tensión que llega por la línea, $U_{1línea}=U_{1trafo}$, al transformador de potencia (1), se transforma según la relación de espiras a_t , resultando una tensión en el secundario del transformador U_{2trafo} .

$$U_{2trafo} = \frac{n_2}{n_1} U_{1trafo} = \frac{1}{a_t} U_{1trafo}$$

Tal como se muestra en la figura 1, del mismo transformador de potencia, se toma una tensión U_{re} que se va a introducir en un dispositivo electrónico (3) que actúa como un transformador con una relación de tensiones fácilmente regulable.

$$U_{re} = \frac{n_r}{n_1} U_{1trafo} = \frac{1}{a_r} U_{1trafo}$$

El dispositivo electrónico representado en las figuras por un chopper reductor, aunque puede utilizarse cualquier otra configuración, va a modificar la amplitud de la tensión de entrada de forma que proporcione una tensión de salida U_{rs} .

5

$$U_{rs} = DU_{re} \quad \text{con} \quad D \in [0,1]$$

El transformador serie (2) modifica la tensión regulada U_{rs} a los valores de regulación necesarios en el secundario del transformador mediante:

10

$$U_{2r} = \frac{n_{s2}}{n_{s1}} U_{rs} = \frac{1}{a_s} U_{rs}$$

La tensión U_{2r} se añade a la tensión del secundario del transformador de potencia, obteniéndose la tensión deseada $U_{2línea}$, comprobándose que dicho valor depende de la regulación del sistema electrónico, D .

15

20

$$U_{2línea} = U_{2trafo} + U_{2r}$$

$$U_{2línea} = \frac{k_2}{a_t} U_{1línea} \quad \text{con} \quad k_2 = 1 + \frac{a_t D}{a_r a_s}; \quad D \in [0,1]$$

En el ejemplo de realización alternativo de la figura 2, se puede observar que la tensión regulada que se obtiene a la salida del equipo electrónico (3), U_{rs} , se añade o sustrae a la tensión que llega por la línea, $U_{1línea}$, una vez modificada a los valores de regulación necesarios por el transformador serie (2), U_{1r} . De esta forma se tiene una tensión de entrada al transformador de potencia (1), ya regulada, U_{1trafo} , con la finalidad de que la tensión de salida $U_{2línea} = U_{2trafo}$ quede fijada en su valor de referencia variando la regulación del sistema electrónico, D .

25

30

$$U_{2línea} = \frac{k_1}{a_t} U_{1línea} \quad \text{con} \quad k_1 = \frac{1}{1 - \frac{D}{a_r a_s}}; \quad D \in [0,1]$$

En las figuras 3a, 3b, 3c y 3d se muestran una serie de variaciones alternativas a los sistemas de conexión del equipo electrónico mostrado en la figura 1. Estas variantes también pueden aplicarse para modificar la configuración de la figura 2. En los casos
 5 de las figuras 3c y 3b el sistema de conexión propuesto ofrece, además, la posibilidad de regular tensiones en una línea, independientemente de la existencia o no de un transformador de potencia.

10 Para la regulación electrónica de tensiones, se ha preferido la utilización de sistemas capaces de reducir la tensión, presentándose como posibilidad básica la utilización de un chopper de alterna reductor (3) que en su versión monofásica queda representado en las figuras 1 y 2, mientras que en las figuras 4a, 4b, 4c se introducen
 15 ejemplos preferentes de montaje trifásico.

Se ha elegido la utilización de sistemas electrónicos basados en la conmutación de dispositivos, como ocurre con el chopper de alterna reductor, debido a la posibilidad de éstos de ofrecer,
 20 idealmente, una tensión de salida controlada de forma continua en función de la tensión de entrada utilizando un número mínimo de semiconductores que permiten conseguir esquemas compactos con pérdidas reducidas.

25 El esquema de conexiones utilizado en el transformador regulador para alimentar el sistema electrónico, se justifica, entre otras razones, por que se requiere que las tensiones e intensidades aplicadas a los dispositivos electrónicos sean lo más reducidas posible. Puede comprobarse que la potencia que las válvulas
 30 semiconductoras tienen que controlar, S_{elec} , es, como máximo, porcentualmente igual al margen de regulación deseado si la referimos a la potencia nominal del transformador, S_{trafo} . Así, si definimos el margen de regulación unitario, Δreg_{pu} , como:

35

$$\Delta reg_{pu} = \frac{U_{1máx} - U_{1mín}}{a_t U_{2n}} = \frac{U_{1máx} - U_{1lín}}{U_{1máx}}$$

se tiene, para los casos de regulación en el secundario y en el primario:

5

$$\frac{máx\{S_{elec}\}}{S_{trafo}} = \frac{U_{1máx} - U_{1mín}}{U_{1máx}} = \Delta reg_{pu}$$

Una segunda característica, también fundamental, que motiva la elección de este esquema de conexiones es que al aplicar el sistema electrónico sólo a la fracción de tensión regulada, los componentes armónicos introducidos por la utilización de elementos electrónicos no lineales se aplican sólo a dicha fracción de tensión. De esta forma, al añadirse la tensión procedente de la red, las componentes armónicas porcentuales inyectadas en la red se ven fuertemente reducidas, mejorándose notablemente los índices de calidad de la onda eléctrica generada.

Aumento del margen de regulación. Inversor.

Una técnica que posibilita el aumento del margen de regulación del procedimiento, doblándolo, es la utilización alternativa de un sistema inversor realizado mediante contactores, triacs, o cualquier dispositivo de funcionamiento similar, siguiendo el esquema mostrado en la figura 5a y 5b.

La idea de utilización del inversor parte de que al realizar la operación de cambio de sentido, la tensión inyectada por el devanado serie, se resta a la existente en la red. De esta forma, si elegimos unas relaciones de espiras adecuadas teniendo en cuenta este nuevo efecto, se dobla el margen de regulación posible o, en su defecto, se reduce a la mitad la potencia a controlar por la electrónica y la inyección armónica debida a la utilización de la misma. Así, para el caso de regulación en el secundario se tiene:

$$U_{2línea} = \frac{1}{a_t} \left(1 \pm \frac{a_t D}{a_r a_{s2}} \right) U_{1línea} = \frac{1}{a_t} k_{2Inv} U_{1línea} \quad \text{con } D \in [0,1]$$

35

y para el caso de regulación en el primario:

$$U_{2lnea} = \frac{1}{a_t} \left(\frac{1}{1 \pm \frac{D}{a_r a_s}} \right) U_{1lnea} = \frac{1}{a_t} k_{1Inv} U_{1lnea} \quad \text{con } D \in [0,1]$$

5 La conmutación de los interruptores se realiza en los momentos en los que D es prácticamente cero, por lo que apenas pasa intensidad por los mismos. Este efecto provoca que no sea necesario disponer de dispositivos con un elevado poder de corte, ni de sistemas que ayuden a reducir o eliminar los posibles arcos
10 eléctricos que suelen producirse en la utilización de interruptores.

Reducción de potencia en el sistema electrónico. Reducción de la componente armónica.

15 Existen casos en los que se puede pretender utilizar un sistema electrónico con semiconductores de menor potencia nominal que la que puede circular debido a la regulación, como pueden ser los casos de transformadores de potencias elevadas.

20 En la figura 6 se muestra un método de conexiones alternativo capaz de reducir la intensidad que circula por los semiconductores, dividiéndola por el número de arrollamientos dispuestos en el primario del transformador serie con la ventaja de permitir reducir los armónicos inyectados si se cruzan adecuadamente los instantes de apertura y cierra de los interruptores que componen cada uno de los choppers.

25 La idea parte de que, al introducir varios primarios, la corriente existente en cada arrollamiento queda dividida entre los distintos bloques de semiconductores; así, para n arrollamientos, en el caso de regulación en el secundario del transformador de potencia se tiene una potencia a controlar, S_{elec} , por cada bloque de:

30

$$I_{2lnea} U_{2r} = \sum_{\text{arrollamientos}} I_{rs} U_{rs} = n I_{rs} U_{rs} \Rightarrow S_{elec} = I_{rs} U_{rs} = \frac{\Delta reg_{pu}}{n}$$

Del mismo modo se obtiene para regulación en el primario:

35

$$S_{elec} = I_{rs} U_{rs} = \frac{\Delta reg_{pu}}{n} \frac{U_{1máx}}{U_{1mín}}$$

En concreto, en la figura 6 se ha representado dos choppers y dos devanados primarios en el transformador serie, con lo que la
5 intensidad que es necesario regular se divide entre ambos choppers.

Como ya se ha señalado se va a reducir la inyección armónica en las redes debido a que si se utiliza un control de anchura de pulsos en cada uno de los sistemas electrónicos de forma que vayan alternándose las conmutaciones de los distintos equipos, se puede
10 provocar la cancelación de los armónicos introducidos a las frecuencias más bajas.

Realización con un único núcleo magnético.

De forma alternativa, es posible reducir el tamaño del equipo, montando los transformadores de potencia y de regulación sobre un
15 único núcleo magnético según se muestra en los esquemas monofásicos de las figuras 7a y 7b o trifásico en la figura 8. Así, las realizaciones de la figuras 7a y 7b se basan en la utilización de un núcleo magnético compuesto por una ventana de regulación (4) y otra de transformación (5), de forma que la ventana de transformación (5) es la que transforma la potencia y la ventana de regulación (4) ajusta la tensión de salida a su valor deseado, siempre que la tensión existente en el secundario sea soportable por la electrónica.

En el caso de regulación en el secundario figura 7a, la ventana
25 de regulación (4) se va a dedicar a proporcionar una tensión variable (U_{2r}) que se añadirá a la tensión que se obtenga en el secundario de la ventana de transformación (U_{2trafo}) para obtener la tensión de salida regulada (U_{2linea}). En el caso de regulación en el primario figura 7b, la ventana de regulación (4) va a proporcionar una tensión
30 (U_{1r}) que, añadida a la tensión de la (U_{1linea}), proporciona la tensión regulada (U_{1trafo}) que alimenta el devanado primario de la ventana de transformación (5). En ambos casos, la amplitud de la tensión de entrada a la ventana de regulación (U_{rs}), vendrá regulada por el sistema electrónico.

No se considera necesario hacer más extensa esta descripción para que cualquier experto en la materia comprenda el alcance de la invención y las ventajas que de la misma se derivan. Los materiales, forma, tamaño y disposición de los elementos, así como el propio
s equipo electrónico de regulación de tensiones son susceptibles de variación siempre y cuando ello no suponga una alteración en la esencialidad del invento.

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores caracterizado por llevarse a cabo a partir de un transformador serie o transformador de regulación (2) en el secundario (figura 1) que va a permitir añadir una cierta tensión, U_{2r} , a la que se obtiene del devanado secundario del transformador de potencia (1) U_{2trafo} .
- 2.- Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores según reivindicación 1 caracterizado porque la tensión que alimenta el transformador de regulación (2) U_{rs} , se encuentra regulada por un equipo electrónico (3) que permite variar la tensión que recibe en su entrada U_{re} .
- 3.- Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores según reivindicación 1 y 2, caracterizado porque, alternativamente, se puede montar el transformador de regulación (2) en el primario (figura 2).
- 4.- Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores según reivindicación 1, 2 y 3, caracterizado porque, alternativamente, en un transformador serie de regulación en el secundario, la alimentación del sistema electrónico puede realizarse según toma intermedia del secundario del transformador de potencia (figura 3a), según un transformador independiente alimentado de bornas del primario del transformador de potencia (figura 3b), según un transformador independiente alimentado de bornas del secundario del transformador de potencia (figura 3c) o a partir de la salida del equipo transformador-regulador (figura 3d) y de forma equivalente en un transformador serie de regulación en el secundario.
- 5.- Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores según reivindicación 1, 2, 3 y 4, caracterizado porque, alternativamente, y en el caso de transformadores trifásicos, el equipo electrónico de regulación de tensiones se puede realizar según choppers reductores con conexión en triángulo (figura 4a), conexión en estrella (figura 4b) o conexión en V (figura 4c).

6.- Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores según reivindicación 1, 2, 3, 4 y 5, caracterizado porque, alternativamente, se puede hacer uso del esquema de interruptores según sistema inversor (figura 5a y 5b) aumentando el
5 rango de regulación del equipo, o reduciendo la potencia a controlar por la electrónica y, en consecuencia, de la distorsión armónica que los equipos electrónicos puedan inyectar.

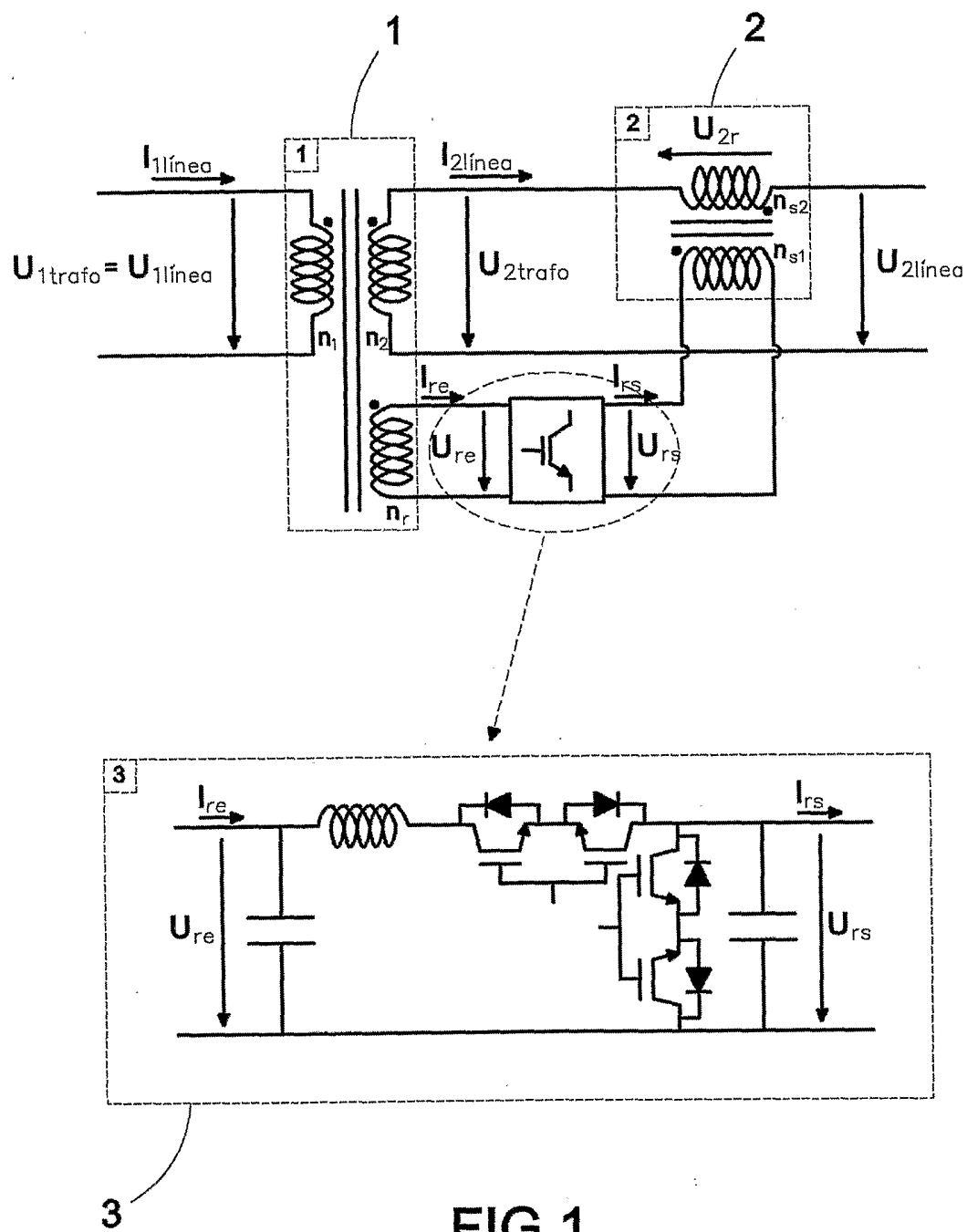
7.- Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores según reivindicación 1, 2, 3, 4, 5 y 6,
10 caracterizado porque, alternativamente, puede utilizarse un sistema de división de intensidades (figura 6) que al incorporar varios equipos electrónicos implica una reducción de la potencia a controlar por cada uno de ellos, así como una reducción de la inyección armónica del conjunto para señales portadora de regulación de cada uno de los
15 equipos electrónicos elegidos.

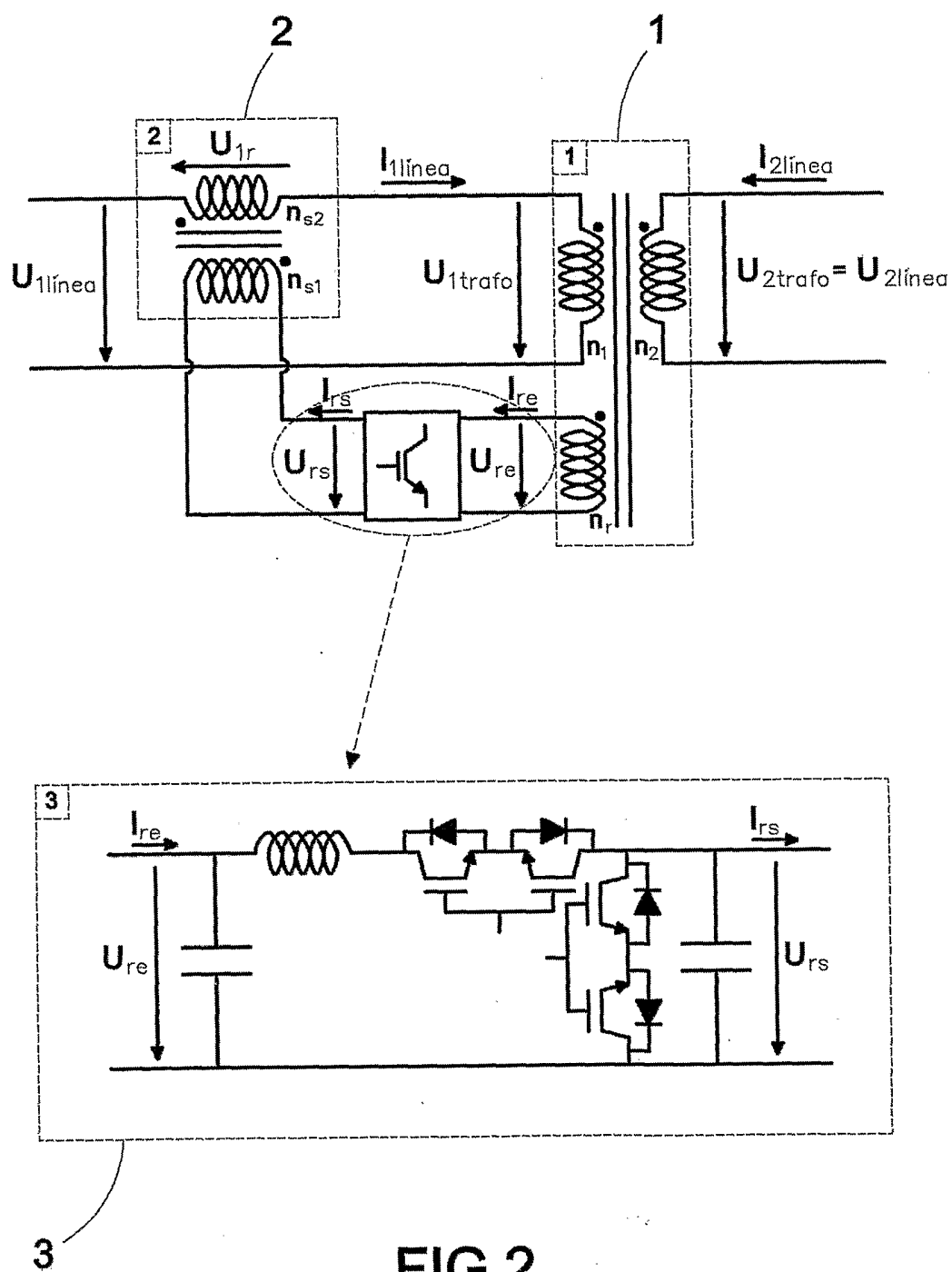
8.- Procedimiento de regulación continua de la relación de tensiones en transformadores según reivindicación 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, caracterizado porque, alternativamente, se pueden montar los transformadores de potencia y de regulación sobre un único núcleo
20 magnético en sistemas monofásicos con regulación en el secundario o el primario según figuras 7a y 7b respectivamente, o en sistemas trifásico según figura 8.

25

30

35

FIG.1



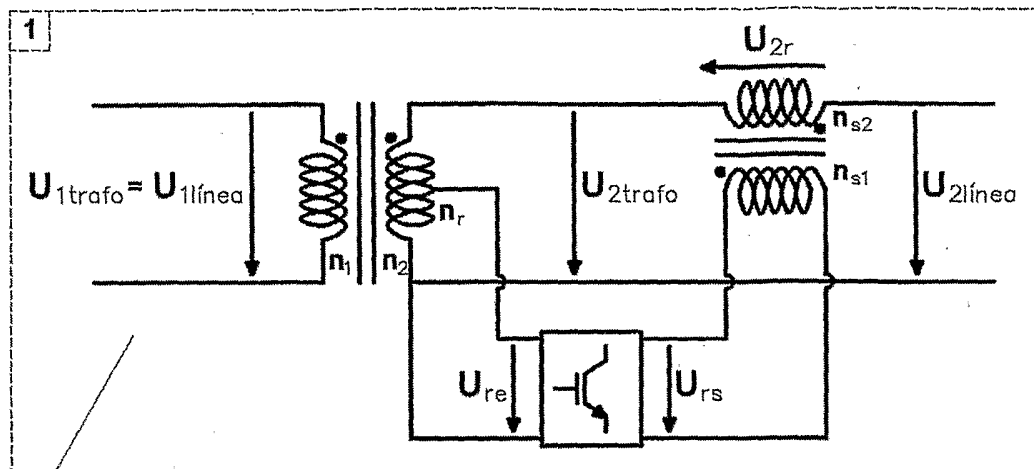


FIG.3a

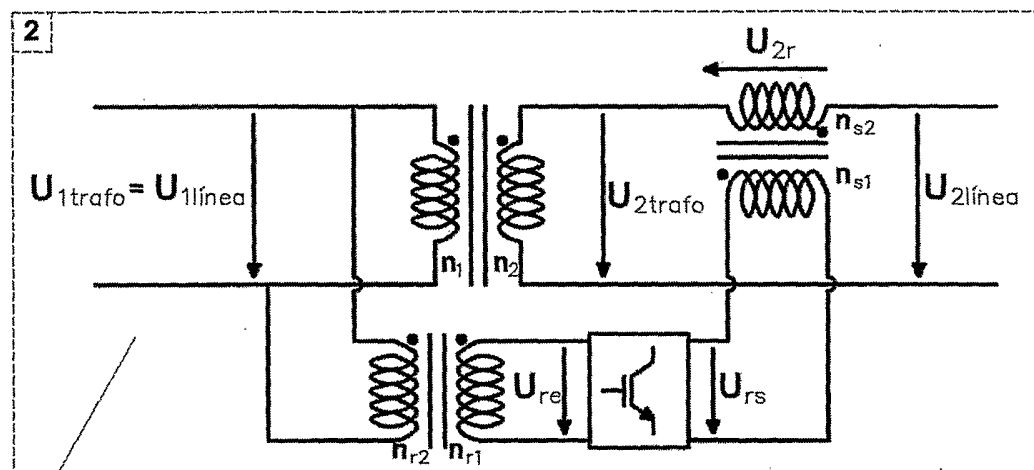


FIG.3b

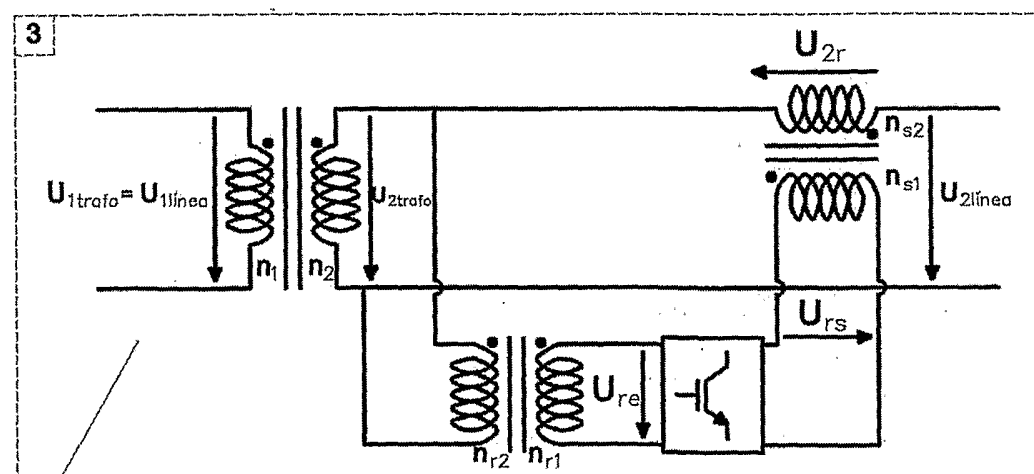


FIG.3c

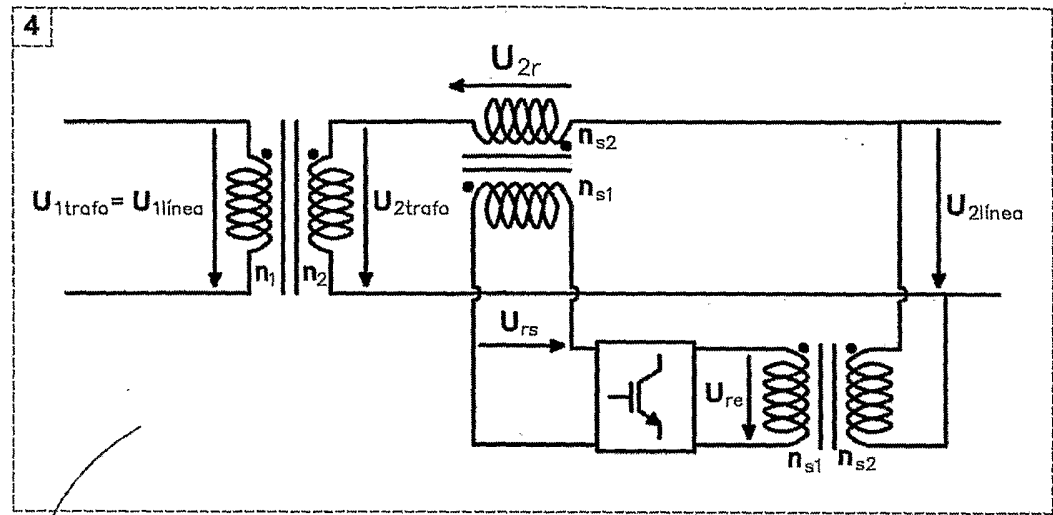
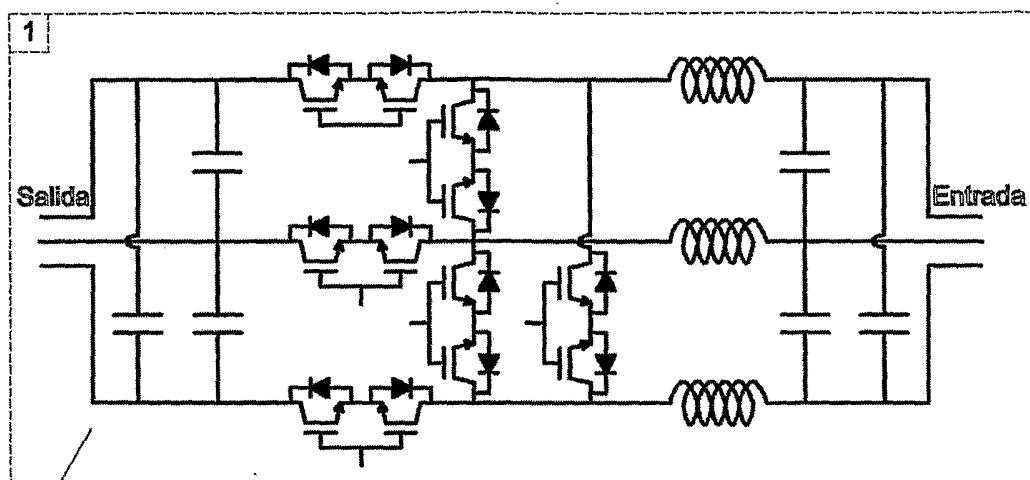
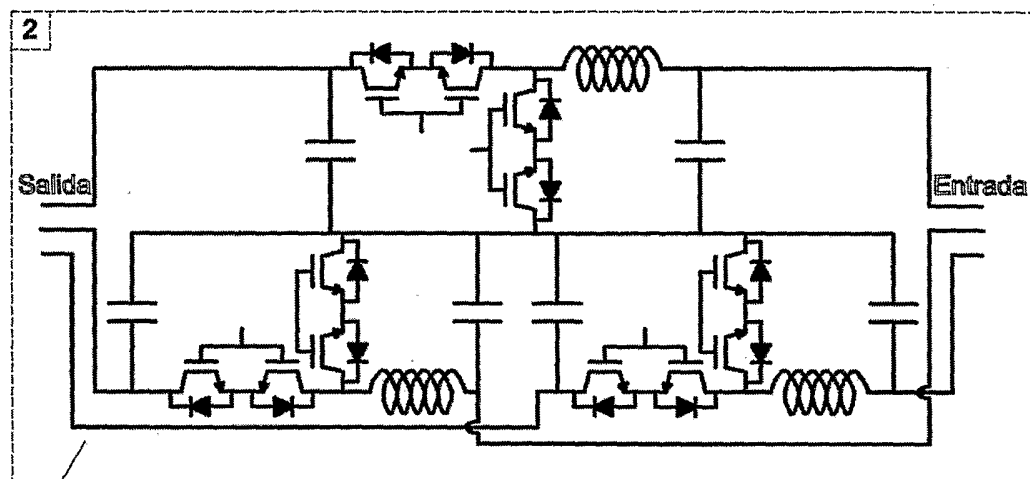
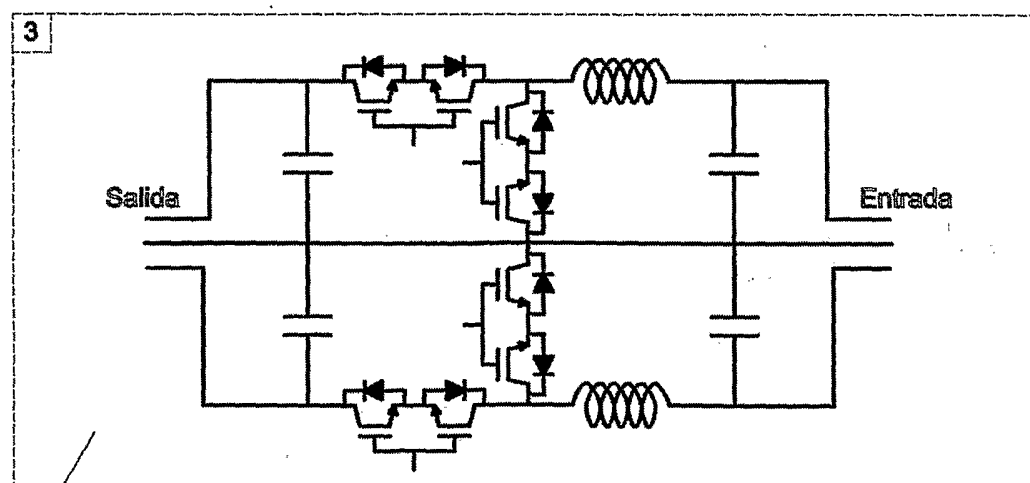
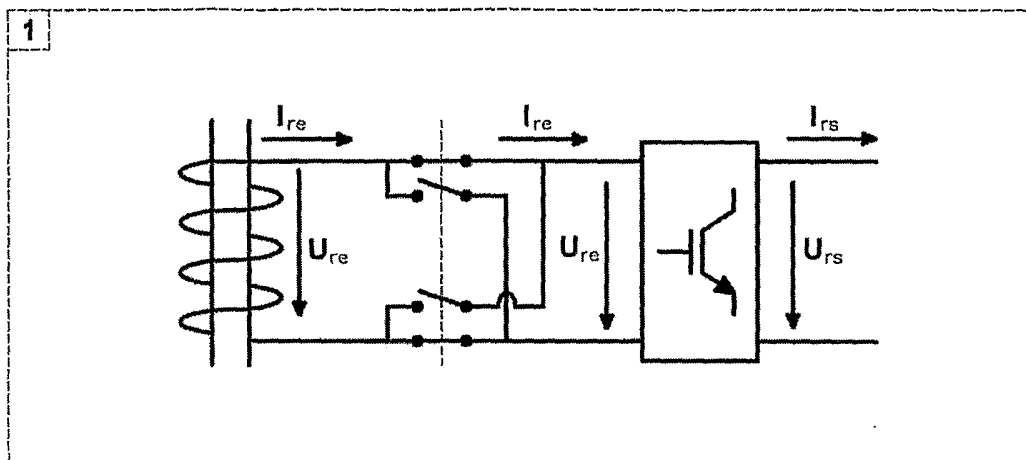
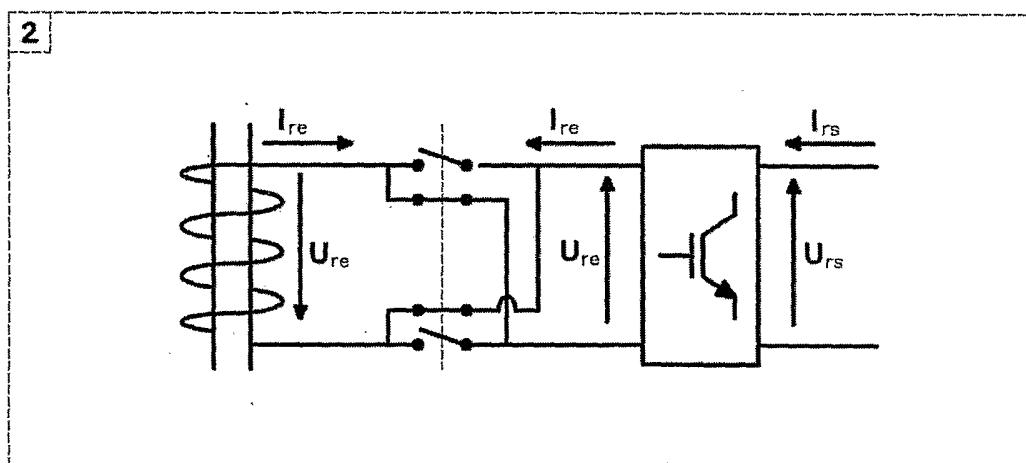


FIG.3d

4

FIG.4aFIG.4bFIG.4c

FIG.5aFIG.5b

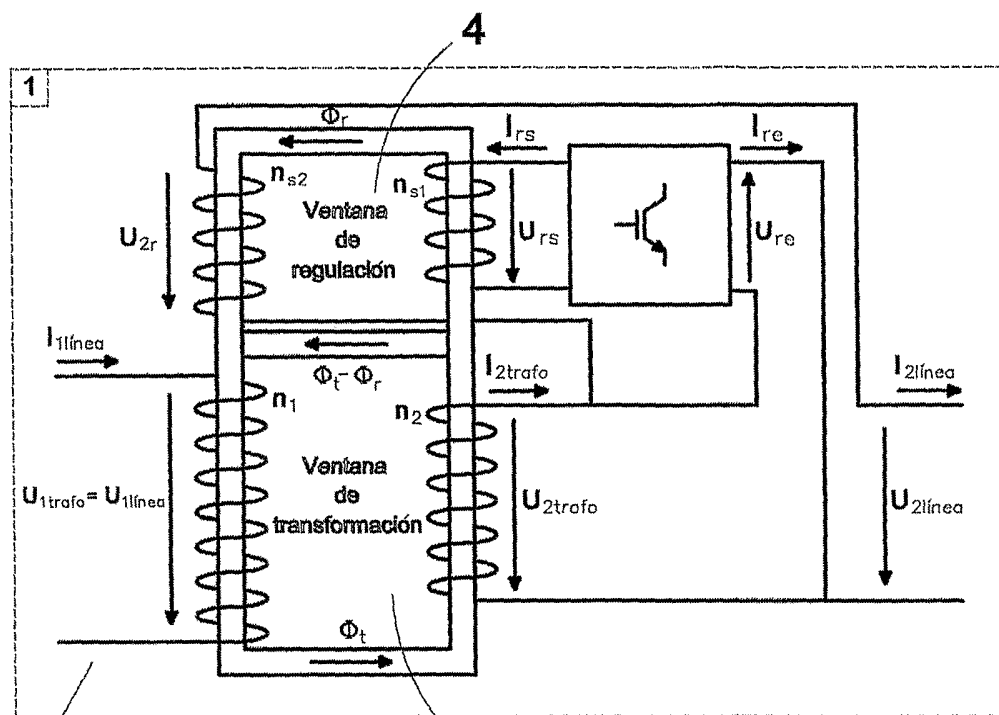


FIG.7a

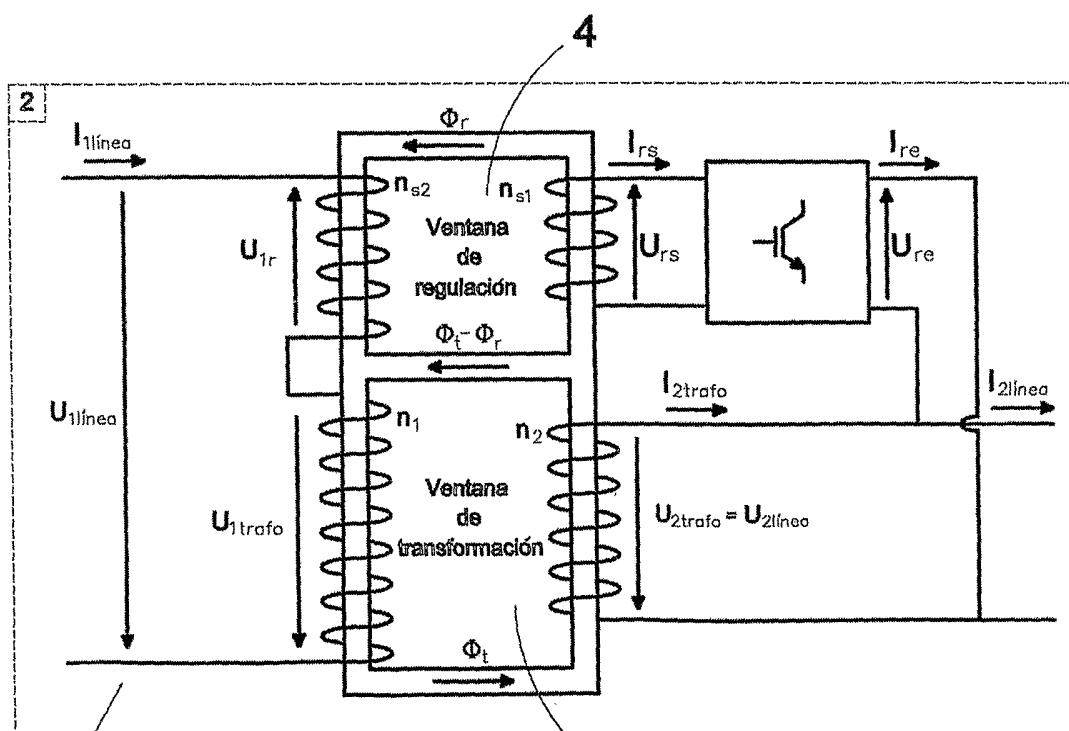


FIG.7b

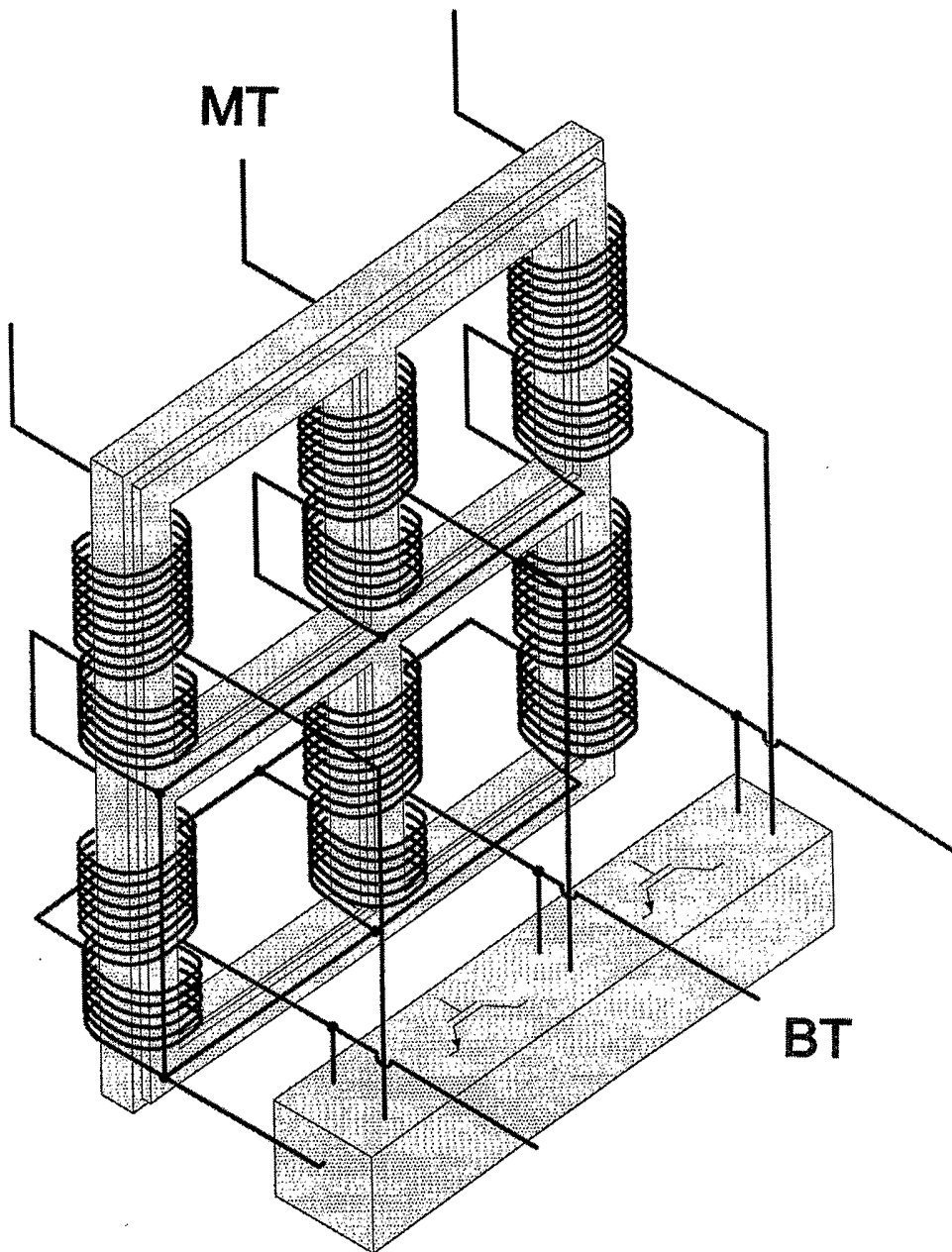


FIG.8