

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 779 782**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/06** (2006.01)

**H02J 3/18** (2006.01)

**H02J 3/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.01.2017 PCT/EP2017/051915**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.08.2017 WO17140479**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2017 E 17702357 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 3417523**

54 Título: **Método para controlar un transformador de regulación e instalación eléctrica para acoplar dos redes de corriente alterna**

30 Prioridad:

**15.02.2016 DE 102016102593**

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

**19.08.2020**

73 Titular/es:

**MASCHINENFABRIK REINHAUSEN GMBH  
(100.0%)  
Falkensteinstrasse 8  
93059 Regensburg, DE**

72 Inventor/es:

**FENG, HAIJUN y  
BABIZKI, ALEXEI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 779 782 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Método para controlar un transformador de regulación e instalación eléctrica para acoplar dos redes de corriente alterna

5 La invención concierne a un método para controlar un transformador de regulación y a una instalación eléctrica para acoplar dos redes de corriente alterna.

10 La desconexión de grandes centrales eléctricas y la construcción simultánea de cada vez más instalaciones de energía renovable y la proporción creciente inherente de suministro de energía fluctuante empeora cada vez más la estabilidad de la red y eleva el peligro de apagones. Esto plantea grandes desafíos tanto para los operadores de la red de distribución como para los operadores de la red de transmisión. Tales inestabilidades causadas por el suministro de energía fluctuante en una red de distribución pueden penetrar en la red de transmisión a través del transformador de regulación que acopla estas redes y, por tanto, deben evitarse en la medida de lo posible.

15 El documento EP 1 134 867 B1 describe una central de protección del sistema para una red de suministro de energía eléctrica y un método para evaluar la estabilidad de una red de suministro de energía eléctrica, comprendiendo la red varias subestaciones transformadoras, buses y líneas y una central de protección del sistema. Este método conocido comprende las siguientes etapas:

- 20 - enviar datos de la subestación transformadora con respecto al estado de interruptores al menos de una subestación transformadora a la central de protección del sistema;
- medir datos de aguja indicadora para tensiones y corrientes en varios lugares de la red;
- 25 - enviar los datos de aguja indicadora a la central de protección del sistema,
- la central de protección del sistema determina a partir de los datos de aguja indicadora y los datos de subestación transformadora al menos un valor de reserva de estabilidad de potencia, tensión o impedancia como una medida de la estabilidad de la red de suministro;
- la central de protección del sistema determina una o varias órdenes de control;
- 30 - la central de protección del sistema envía las órdenes de control a la al menos una subestación transformadora;
- la subestación transformadora ejecuta las órdenes de control;
- la central de protección del sistema adquiere informaciones del estado de la red;
- la central de protección del sistema envía las informaciones del estado de la red a un sistema de control de energía;
- 35 - el sistema de control de energía controla la generación de corriente y el flujo de corriente en la red según las informaciones del estado de la red.

40 En este método conocido, el sistema de control de energía acumula los datos de varias subestaciones transformadoras. Sobre la base de estos datos acumulados, el sistema de control de energía controla la generación de corriente y el flujo de corriente en la red para lo cual envía órdenes de control a la subestación transformadora. En este método conocido, la central de protección del sistema recibe datos de aguja indicadora de unidades de medición de aguja indicadora que se encuentran en líneas de alimentación de las diversas subestaciones transformadoras y/o en puntos de ramificación a lo largo de líneas de transmisión. En este método conocido, se acumulan los datos de aguja indicadora de unidades de medición de aguja indicadora, que están distribuidas sobre una gran área geométrica de centenares de kilómetros. En este método conocido, la determinación de la estabilidad de la red de suministro se realiza según un método que es conocido por el documento de VU, K. ET AL: "USE OF LOCAL MEASUREMENTS TO ESTIMATE VOLTAGE-STABILITY MARGIN" (POWER INDUSTRY COMPUTER APPLICATIONS (PICA), IEEE, 12.-16- mayo 1997).

50 El documento de VU, K. ET AL: "USE OF LOCAL MEASUREMENTS TO ESTIMATE VOLTAGE-STABILITY MARGIN" (POWER INDUSTRY COMPUTER APPLICATIONS (PICA), IEEE, 12.-16- mayo 1997) describe un método que determina la estabilidad de una red de transmisión. Este método conocido utiliza para un carril de carga ("load bus") de la red de transmisión un modelo de carga y trata el resto de la red de transmisión como un equivalente Thévenin. En este método conocido, el modelo de carga define la impedancia de carga por  $Z_{app} = U(t)/I(t)$  y se utiliza como criterio de estabilidad  $|Z_{app}| > Z_{Thev}$ , donde  $Z_{Thev}$  es la impedancia Thévenin.

60 El documento de LE FU ET AL: "Phasor measurement application for power system voltage stability monitoring" (POWER AND ENERGY SOCIETY GENERAL MEETING - CONVERSION AND DELIVERY OF ELECTRICAL ENERGY IN THE 21ST CENTURY, IEEE, 20.06.2008, páginas 1-8) describe un método para vigilar la estabilidad de tensión en redes de energía eléctrica. Con ayuda de datos de red, que se generan por PMUs (Phasor Measurement), e información sobre manipulaciones de conmutación de interruptores escalonados (OLTC) se adquiere un índice para la estabilidad de tensión.

65 El documento de BAHADORNED MOMEN ET AL: "Intelligent Control of On-Load Tap Chaning Transformer", (IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, IEEE, USA, Bd. 5, No. 5, 1. septiembre 2014, páginas 2255 - 2263) describe

un método para regular un interruptor escalonado que se basa en la variación de la corriente del lado primario y la tensión del lado primario, que surge en una operación del interruptor escalonado. Las variaciones que surgen en la corriente y la tensión se utilizan para determinar los equivalentes Thévenin correspondientes de la red de suministro.

5 El documento de BARTOSZ BRUSILOWICZ ET AL.: "A new method of voltage stability margin estimation based on local measurements", (ADVANCED POWER SYSTEM AUTOMATION AND PROTECTION (APAP), 2011 INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, 16.10.2011, páginas 2443-2447) describe un método para vigilar la estabilidad de tensión local de un sistema de suministro de energía. Para evaluar la estabilidad de tensión se utilizan equivalentes Thévenin. Para determinar los equivalentes Thévenin se recurre a procesos de conmutación del interruptor escalonado.

15 El documento de M.H. HAQUE: "On-line monitoring of maximum permissible loading of a power system within voltage stability limits", IEE PROCEEDINGS: GENERATION, TRANSMISSION AND DISTRIBUTION, Bd. 150, No. 1, 01.01.2013, páginas 107-112) describe un método para determinar la carga máxima admisible y el margen de estabilidad de tensión de un sistema de suministro de energía. Para determinar los parámetros citados, se utilizan informaciones sobre el estado de funcionamiento actual.

20 El documento GB 2 521 414 A describe un método y un dispositivo para alimentar o extraer potencia en una red eléctrica. Para modelar la red eléctrica, se utiliza el teorema de Thévenin. Sobre la base de los equivalentes Thévenin así modelados, se determina una corriente optimizada que se alimenta a la red o se extrae de la red para minimizar pérdidas en la red y garantizar un flujo de potencia óptimo en la red.

25 El documento EP 1 211 775 A1 describe un método y un dispositivo para evaluar la estabilidad de una red eléctrica, utilizándose al menos un par de valores de medición. Cada valor de medición comprende en este caso unos puntos de medición primero y segundo, incluyendo cada punto de medición una aguja indicadora de tensión y una de corriente. Con ayuda de los valores de medición se adquiere un equivalente Thévenin de la impedancia y un valor de estabilidad. Además, se adquiere un indicador de validez que depende de si se origina una desviación entre los dos puntos de medición y una desviación entre dos impedancias de carga correspondientes. Sobre la base del indicador de validez, se deduce un indicador de calidad que se asocia al equivalente Thévenin de la impedancia y al valor de estabilidad actual.

30 El documento US 2013 0 119 950 A1 describe un dispositivo para compensar una línea de transmisión que comprende un autotransformador y un equipo de compensación.

35 A partir de estos antecedentes, la invención propone los objetos de las reivindicaciones independientes. Formas de realización ventajosas de la invención se describen en las reivindicaciones subordinadas.

40 A continuación, una formulación del tipo "A está vinculada a B" corresponde a una formulación del tipo "A está unida con B", una formulación del tipo "A está unida con B" comprende los significados "A está directamente unida con B de manera eléctricamente conductora" y "A está unida indirectamente, es decir, a través de C con B de manera eléctricamente conductora" y una formulación del tipo "A está conectada a B" tiene el significado "A está unida directamente con B de manera eléctricamente conductora".

45 Según un primer aspecto, la invención propone un método para controlar un transformador de regulación con relación de transformación ajustable que se conmuta entre unas redes de corriente alterna primera y segunda, en donde:

- se adquieren los datos de las agujas indicadoras de las redes de corriente alterna primera y/o segunda;
- se adquiere o elige para la primera red de corriente alterna un diagrama eléctrico equivalente con sus parámetros;
- se adquiere o elige para la segunda red de corriente alterna un modelo de carga con sus parámetros;
- se adquieren los parámetros del diagrama eléctrico equivalente y los parámetros de modelo de carga a partir de los datos de aguja indicadora;
- cuando deba conmutarse a una relación de transformación deseada,

- se predice para la relación de transformación deseada un punto de trabajo de la segunda red de corriente alterna;
- se comprueba para el punto de trabajo predicho un criterio de estabilidad en la segunda red de corriente alterna y/o para la segunda red de corriente alterna;
- en caso de que se cumpla el criterio de estabilidad, se conmuta a la relación de transformación deseada; en caso contrario no se conmuta.

Debe conmutarse usualmente a una relación de transformación deseada cuando, por ejemplo, se vulnera una banda de tensión prefijada.

65

La invención propone de acuerdo con un segundo aspecto una instalación eléctrica para acoplar dos redes de corriente alterna, que comprende:

- 5 - un transformador de regulación con relación de transformación ajustable que está conmutado o puede conmutarse entre unas redes de corriente alterna primera y segunda;
- un equipo de medición que puede capturar magnitudes de corriente alterna, en particular magnitudes de corriente alterna de las redes de corriente alterna primera y/o segunda, siendo características particularmente las magnitudes de corriente alterna para datos de aguja indicadora, en particular los datos de aguja indicadora de las redes de corriente alterna primera y/o segunda, y/o pudiendo adquirirse a partir de sus datos de aguja indicadora, en particular los datos de aguja indicadora de las redes de corriente alterna primera y/o segunda;
- 10 - un equipo de control que está acoplado al equipo de medición y, para controlar el transformador de regulación, al transformador de regulación, estando configurado el equipo de control de tal manera que
  - 15 - se adquieren, a partir de las magnitudes de corriente alterna, los datos de aguja indicadora de las agujas indicadoras de las redes de corriente alterna primera y/o segunda;
  - se adquiere o elige para la primera red de corriente alterna, un diagrama eléctrico equivalente con sus parámetros;
  - se adquiere o elige para la segunda red de corriente alterna un modelo de carga con sus parámetros;
  - 20 - se adquieren los parámetros del diagrama eléctrico equivalente y los parámetros de modelo de carga a partir de los datos de aguja indicadora;
  - se vigilan los datos de aguja indicadora y, según el resultado de la vigilancia, se prepara con ayuda de los datos de aguja indicadora una señal de conmutación que contiene una relación de transformación deseada;
  - cuando se ha preparado la señal de conmutación,
    - 25 • se predice para la relación de transformación deseada un punto de trabajo de la segunda red de corriente alterna;
    - se comprueba para el punto de trabajo predicho un criterio de estabilidad en la segunda red de corriente alterna y/o para la segunda red de corriente alterna;
    - 30 • en caso de que se cumpla el criterio de estabilidad, se envía la señal de conmutación al transformador de regulación; en caso contrario no se envía.

La invención permite que se aprecien de forma precoz problemas en la red, sin que deban realizarse grandes gastos adicionales, que están unidos, sobre todo, con los llamados "sensores apartados", que se utilizan, según el documento EP 1 134 867 B1 por el método conocido y la central de protección del sistema conocida y se designan allí como unidades de medición de aguja indicadora. En efecto, la invención se basta con los denominados "sensores locales", que están en cualquier caso ya presentes en un transformador de regulación, ya que se utilizan para su regulación y, a modo de ejemplo, son convertidores analógico a digital sencillos y baratos.

40 Además, la invención permite una reacción autárquica del transformador de regulación para evitar o al menos reducir y retardar un posible problema de estabilidad sin que deban enviarse datos a un equipo de control alejado en un puesto de mando y deban recibirse por estas señales de control. En efecto, la invención impide que el transformador de regulación conmute a otra relación de transformación y, por tanto, modifique la tensión si la segunda red de corriente alterna entrara así en un estado inestable.

45 Los datos de aguja indicadora representan de manera conocida las agujas indicadoras utilizadas en el cálculo complejo de la corriente alterna para la tensión e intensidad de corriente y pueden adquirirse, por ejemplo, de forma conocida por medición resuelta en tiempo de la tensión y la intensidad de corriente. A partir de los datos de aguja indicadora pueden calcularse de manera conocida todas las magnitudes eléctricas necesarias como, por ejemplo, tensión, intensidad de corriente, ángulo de desplazamiento de fases, factor de potencia, factor activo, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva, impedancia, resistencia aparente, resistencia activa o resistencia reactiva. Los datos de aguja indicadora se añaden ventajosamente en los correspondientes conjuntos de datos de aguja indicadora.

55 Preferiblemente, los datos de aguja indicadora se adquieren en el transformador de regulación y/o se capturan las magnitudes de corriente alterna necesarias para los datos de aguja indicadora en el transformador de regulación.

La medición de tensión e intensidad de corriente resuelta en tiempo mencionada se realiza preferentemente de forma conocida en los bornes de entrada del transformador de regulación, en los que este puede estar unido con la primera red de corriente alterna y/o en sus bornes de salida en los que puede estar unido con la segunda red de corriente alterna, y/o en líneas que están unidas o conectadas a estos bornes.

65 Cada red de corriente alterna puede estar configurada de cualquier forma según la necesidad. Así, por ejemplo, la primera red de corriente alterna puede ser una red de transmisión que se hace funcionar por un operador de red de transmisión en un plano de alta tensión a, por ejemplo, 60 kV a 150 kV o 110 kV, y la segunda red de corriente alterna puede ser una red de distribución, que se hace funcionar por un operador de red de distribución en un plano

de media tensión a por ejemplo 1 kV a 35 kV o 20 kV a 25 kV o 10 kV. No obstante, la primera red de corriente alterna puede ser, por ejemplo una red de transmisión que se haga funcionar por un operador de red de transmisión en un plano de máxima tensión a, por ejemplo, 230 kV o 400 kV o 735 kV o 765 kV o 750 kV o 500 kV, y la segunda red de corriente alterna puede ser una red de transmisión que se haga funcionar por un operador de red de transmisión en un plano de alta tensión a por ejemplo 60 kV a 150 kV o 110 kV. No obstante, la primera red de corriente alterna puede ser, por ejemplo, una red de distribución que se haga funcionar por un operador de red de distribución en un plano de media tensión a, por ejemplo, 1 kV a 35 kV o 20 kV a 25 kV o 10 kV, y la segunda red de corriente alterna puede ser una red local o red urbana que se haga funcionar por un operador de red de distribución en un plano de baja tensión de, por ejemplo, 230 V o 400 V.

El diagrama eléctrico equivalente puede formarse según la necesidad de cualquier forma. En una forma de realización se especifica que:

- se forma el diagrama eléctrico equivalente según el teorema de Thévenin o el teorema de Norton. Los parámetros de diagrama eléctrico equivalente pueden determinarse según la necesidad de cualquier manera.

En una forma de realización se especifica que:

- se adquieren los parámetros de diagrama eléctrico equivalente en base a que
  - se adquieren o acumulan los datos de aguja indicadora y, eventualmente, las relaciones de transformación para un número predeterminado M de instantes;
  - se adquiere o elige una función objetivo utilizando los datos de aguja indicadora acumulados y, eventualmente, las relaciones de transformación;
  - se calculan los parámetros de diagrama eléctrico equivalente minimizando la función objetivo.

Preferentemente, los datos de aguja indicadora necesarios para adquirir la función objetivo se acumulan solo cuando se ha modificado la carga en una cantidad predeterminada.

La función objetivo puede adquirirse y/o elegirse y/o configurarse según la necesidad de cualquier manera.

En una forma de realización se especifica que

- para el teorema de Thévenin se elige como función objetivo

$$L = \sum_{k=1}^M \left\{ \left( \frac{E_{Th}}{\ddot{u}} \right)^2 - \left[ u_k^2 + 2Z(P_k \cos \vartheta + Q_k \sin \vartheta) + (Zi_k)^2 \right] \right\}^2$$

con las condiciones secundarias

$$EU \leq E_{Th} \leq EO, \text{ con } EU < 1 \text{ y } EO > 1$$

$$Z > 0$$

$$TU \leq \tan \vartheta \leq TO$$

- $\ddot{u}$  es la relación de transformación que es preferentemente constante o se supone constante;
- ZDk es un conjunto de datos de aguja indicadora que contiene los datos de aguja indicadora acumulados en un k-ésimo instante (con  $k = 1 \dots M$ );
- $P_k$  es la potencia activa calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;
- $Q_k$  es la potencia reactiva calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;
- $i_k$  es la intensidad de corriente calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;
- $u_k$  es la tensión calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;
- $E_{Th}$  es la tensión Thévenin;
- se define o está definida una impedancia total, que describe la primera red de corriente alterna (11) y el transformador de regulación (13), por

-

$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\vartheta} = \frac{\underline{Z}_{Th} + \underline{Z}_{Trf}}{\ddot{u}^2}$$

5

- $Z_{Th}$  es la impedancia Thévenin;
- $Z_{Trf}$  es la impedancia del transformador de regulación (13);
- $Z$  es la resistencia aparente de la impedancia total;
- $\vartheta$  es el ángulo de fase de la impedancia total;
- $Z$ ,  $\vartheta$  y  $E_{Th}$  son los parámetros de diagrama eléctrico equivalente;
- EU y EO son valores límite inferior y superior predeterminados;
- TU y TO son valores límite inferior y superior predeterminados;

10

En una forma de realización se especifica que:

15

- EU, en particular en caso necesario, se ajusta a 0,6 o 0,7 o 0,8 o 0,9; y/o
- EO, en particular en caso necesario, se ajusta a 1,1 o 1,15 o 1,2 o 1,25 o 1,3 o 1,4; y/o
- TU, en particular en caso necesario, se ajusta a un valor menor que 10 o a 9 u 8,5 u 8 o 7,5 o 7 o 6,5 o 6 o 5,5 o 5 o 4,5 o 4 o 3,5 o 3 o 2,5 o 2; y/o
- TO, en particular en caso necesario, se ajusta a un valor mayor que 12 o a 13 o 13,5 o 14 o 14,5 o 15 o 15,5 o 16 o 16,5 o 17 o 18 o 19 o 20.

20

En una forma de realización se especifica que

25

- el modelo de carga modela la segunda red de corriente alterna como una carga total dependiente de la tensión; y/o
- el modelo de carga describe la potencia activa y la potencia reactiva de la segunda red de corriente alterna en función de la tensión aplicada.

30

En contraste, en el documento de VU, K. ET AL: "USE OF LOCAL MEASUREMENTS TO ESTIMATE VOLTAGE-STABILITY MARGIN" (POWER INDUSTRY COMPUTER APPLICATIONS (PICA), IEEE, 12.-16- mayo 1997) se enseña que el modelo de carga describe la potencia del carril de carga con independencia de la tensión aplicada.

En caso necesario, el modelo de carga puede modelarse y/o configurarse de cualquier manera.

35

En una forma de realización se especifica que:

- el modelo de carga se modela en base a que
  - para un número predeterminado N de conmutaciones a una relación de transformación deseada, se adquieren y acumulan los datos de aguja indicadora antes y después de cada una de estas conmutaciones;
  - se adquieren o eligen una primera función objetivo para la potencia activa y una segunda función objetivo para la potencia reactiva utilizando los datos de aguja indicadora acumulados;
  - se calculan los parámetros de modelo de carga minimizando las funciones objetivo.

45

En caso necesario, el modelo de carga puede adquirirse y/o elegirse y/o configurarse de cualquier manera.

En una forma de realización se especifica que

50

- el modelo de carga es un modelo de carga exponencial o un modelo de carga polinómico o un modelo de carga combinado.

En caso necesario, cada una de las dos funciones objetivo puede adquirirse y/o elegirse y/o configurarse de cualquier manera.

55

En una forma de realización se especifica que

- para el modelo de carga exponencial se eligen como primera función objetivo

$$J = \sum_{k=1}^N \left[ \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} - \left( \frac{u_{1,k}}{u_{2,k}} \right)^x \right]^2$$

y como segunda función objetivo

$$K = \sum_{k=1}^N \left[ \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} - \left( \frac{u_{1,k}}{u_{2,k}} \right)^y \right]^2$$

5

con las condiciones secundarias

$$0 \leq x \leq 2$$

10

$$0 \leq y \leq YO$$

- $P_{1,k}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
- $P_{2,k}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
- $Q_{1,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
- $Q_{2,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
- $u_{1,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
- $u_{2,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
- $x, y$  son los parámetros de modelo de carga;
- $YO$  es un valor límite superior predeterminado.

En una forma de realización se especifica que

30

- para el modelo de carga polinómico se eligen como primera función

$$J = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^2 - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^2 \right] x_1 + \left[ u_{1,k} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k} \right] x_2 + \left[ 1 - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} \right] x_3 \right\}^2$$

35

y como segunda función

$$K = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^2 - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^2 \right] y_1 + \left[ u_{1,k} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k} \right] y_2 + \left[ 1 - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} \right] y_3 \right\}^2$$

con las condiciones secundarias

$$0 \leq x_i \leq 1 \text{ y } 0 \leq y_i \leq 1, \text{ con } i = 1 \dots 3$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = y_1 + y_2 + y_3 = 1$$

40

- $P_{1,k}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
  - $P_{2,k}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
  - 5 -  $Q_{1,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
  - $Q_{2,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
  - 10 -  $u_{1,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
  - $u_{2,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
  - $x_i, x_j, y_i, y_j$  son los parámetros de modelo de carga.
- En una forma de realización se especifica que
- 15 - para el modelo de carga combinado se eligen como primera función objetivo

$$J = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^{x_4} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^{x_4} \right] x_1 + \left[ u_{1,k}^{x_5} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^{x_5} \right] x_2 + \left[ u_{1,k}^{x_6} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^{x_6} \right] x_3 \right\}^2$$

20 y como segunda función objetivo

$$K = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^{y_4} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^{y_4} \right] y_1 + \left[ u_{1,k}^{y_5} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^{y_5} \right] y_2 + \left[ u_{1,k}^{y_6} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^{y_6} \right] y_3 \right\}^2$$

con las condiciones secundarias

$$0 \leq x_i \leq 1 \text{ y } 0 \leq y_i \leq 1, \text{ con } i = 1 \dots 3$$

$$0 \leq x_j \text{ y } 0 \leq y_j, \text{ con } j = 4 \dots 6$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = y_1 + y_2 + y_3 = 1$$

- $P_{1,k}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
- 30 -  $P_{2,k}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
- $Q_{1,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
- $Q_{2,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
- 35 -  $u_{1,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
- $u_{2,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
- 40 -  $x_i, x_j, y_i, y_j$  son los parámetros de modelo de carga.

En una forma de realización se especifica que

- YO, se ajusta, en particular en caso necesario, a un valor mayor que 3 o a 4 o 4,5 o 5 o 5,5 o 6 o 6,5 o 7 o 7,5 u 8 u 8,5 o 9 o 9,5 o 10 u 11.

45 En caso de necesario, el punto de trabajo puede predecirse de cualquier manera.

En una forma de realización se especifica que

- 50 - el punto de trabajo se predice con ayuda de un cálculo de flujo de carga.

En caso necesario, el criterio de estabilidad puede adquirirse y/o elegirse y/o comprobarse y/o configurarse de cualquier manera.

5 En una forma de realización se especifica que

- el criterio de estabilidad se comprueba con ayuda de un cálculo de flujo de carga.

En una forma de realización se especifica que

- 10
- el criterio de estabilidad se comprueba en base a que
    - se adquiere una reserva de estabilidad  $\Delta P$  para el estado actual de la segunda red de corriente alterna;
    - para el punto de trabajo predicho se comprueba si se cumple
- 15

$$P_G - P' > \Delta P$$

- $P_G$  es la potencia activa límite de la curva característica P-U;
- $P'$  es la potencia activa del punto de trabajo predicho.

20 La potencia activa límite es la potencia activa máxima de la curva característica P-U y está en el punto límite de la curva característica P-U en la que se sobrecarga la segunda red de corriente alterna.

En esta comprobación, se evalúa la potencia activa P. Alternativa o adicionalmente, el criterio de estabilidad puede comprobarse, por ejemplo también, por medio de una evaluación análoga de la potencia reactiva.

25 En caso necesario, la reserva de estabilidad puede adquirirse y/o elegirse y/o configurarse de cualquier forma.

En una forma de realización se especifica que

- 30
- se elige como reserva de estabilidad

$$\Delta P = P_G - P_H$$

- $P_H$  es la potencia activa Hopf de la curva característica P-U.

35 La potencia activa Hopf está en el punto Hopf de la curva característica P-U en el que la segunda red de corriente alterna es inestable.

Por tanto, esta reserva de estabilidad depende de la potencia activa P. Sin embargo, alternativa o adicionalmente, puede depender también de la potencia reactiva Q y/o de la potencia aparente S y/o del factor de potencia o factor activo.

40

En una forma de realización se especifica que

- 45
- el criterio de estabilidad se comprueba en base a que
    - para el estado actual (A) de la segunda red de corriente alterna (12) se adquiere una reserva de estabilidad  $\Delta P$ ;
    - para el punto de trabajo predicho (A') se comprueba si se cumple

$$P_G - P' > \Delta P$$

- 50
- $P_G$  es la potencia activa límite de la curva característica P-U;
  - $P'$  es la potencia activa del punto de trabajo (A') predicho;
  - se adquiere la reserva de estabilidad con ayuda de un cálculo de flujo de carga; y/o
  - se comprueba el criterio de estabilidad en función de la primera derivada  $U'(P)$  y/o del valor absoluto de la primera derivada  $|U'(P)|$  y/o de la segunda derivada  $U''(P)$  y/o del valor absoluto de la segunda derivada  $|U''(P)|$  de la curva característica P-U.
- 55

En una forma de realización se especifica que, en particular antes de adquirir los parámetros de modelo de carga y/o después de cada conmutación,

- 60
- se comprueba un criterio de variación de estado para el estado de la primera red de corriente alterna;

## ES 2 779 782 T3

- en caso de que se cumpla el criterio de variación de estado, se repite o se realiza de nuevo la adquisición de los parámetros de diagrama eléctrico equivalente.

5 Preferentemente, para esta nueva adquisición de los parámetros de diagrama eléctrico equivalente, se utilizan solo aquellos datos de aguja indicadora que se han medido después de la variación de estado.

En caso necesario, el criterio de variación de estado puede adquirirse y/o elegirse y/o comprobarse y/o configurarse de cualquier forma.

10 En una forma de realización se especifica que

- una impedancia total, que describe la primera red de corriente alterna y el transformador de regulación, se define o está definida por

$$\underline{Z} = R + jX = \frac{\underline{Z}_{Th} + \underline{Z}_{Trf}}{\ddot{u}^2}$$

- 15
- $\underline{Z}_{Th}$  es la impedancia Thévenin;
  - $\underline{Z}_{Trf}$  es la impedancia del transformador de regulación;
  - R es la resistencia activa de la impedancia total;
  - X es la impedancia reactiva de la impedancia total;
- 20
- ZDi es un conjunto de datos de aguja indicadora que contiene los datos de aguja indicadora acumulados en un i-ésimo instante;
  - el criterio de variación de estado se comprueba en base a que

- 25
- a partir del más reciente conjunto de datos de aguja indicadora ZD1 y los tres conjuntos de datos de aguja indicadora anteriores ZD2, ZD3, ZD4, se calculan respectivamente la tensión  $u_i$ , la intensidad de corriente  $i_j$ , la potencia activa  $P_i$  y la potencia reactiva  $Q_i$  con  $i = 1 \dots 4$ ;
  - se comprueba si no se cumple al menos una de las siguientes condiciones

$$E_1^2 - 4D_1F_1 \geq 0$$

$$\Delta X < X_0$$

- se utilizan las siguientes definiciones:

## ES 2 779 782 T3

$$A_1 = (u_1^2 - u_2^2)(i_1^2 - i_3^2) - (u_1^2 - u_3^2)(i_1^2 - i_2^2)$$

$$A_2 = (u_2^2 - u_3^2)(i_2^2 - i_4^2) - (u_2^2 - u_4^2)(i_2^2 - i_3^2)$$

$$B_1 = 2(P_1 - P_2)(i_1^2 - i_3^2) - 2(P_1 - P_3)(i_1^2 - i_2^2)$$

$$B_2 = 2(P_2 - P_3)(i_2^2 - i_4^2) - 2(P_2 - P_4)(i_2^2 - i_3^2)$$

$$C_1 = 2(Q_1 - Q_2)(i_1^2 - i_3^2) - 2(Q_1 - Q_3)(i_1^2 - i_2^2)$$

$$C_2 = 2(Q_2 - Q_3)(i_2^2 - i_4^2) - 2(Q_2 - Q_4)(i_2^2 - i_3^2)$$

$$D_1 = \frac{B_1^2 + C_1^2}{B_1^2} (i_1^2 - i_2^2)$$

$$D_2 = \frac{B_2^2 + C_2^2}{B_2^2} (i_2^2 - i_3^2)$$

$$E_1 = \frac{2A_1C_1}{B_1^2} (i_1^2 - i_2^2) - 2\frac{C_1}{B_1} (P_1 - P_2) + 2(Q_1 - Q_2)$$

$$E_2 = \frac{2A_2C_2}{B_2^2} (i_2^2 - i_3^2) - 2\frac{C_2}{B_2} (P_2 - P_3) + 2(Q_2 - Q_3)$$

$$F_1 = (u_1^2 - u_2^2) + \frac{A_1^2}{B_1^2} (i_1^2 - i_2^2) - 2\frac{A_1}{B_1} (P_1 - P_2)$$

$$F_2 = (u_2^2 - u_3^2) + \frac{A_2^2}{B_2^2} (i_2^2 - i_3^2) - 2\frac{A_2}{B_2} (P_2 - P_3)$$

-  $X_1$  es la resistencia reactiva de la impedancia total para los conjuntos de datos de aguja indicadora ZD1 ... ZD3 y se calcula a partir de

$$D_1 X_1^2 + E_1 X_1 + F_1 = 0 \quad \text{y} \quad X_1 > 0$$

5

-  $X_2$  es la resistencia reactiva de la impedancia total para los conjuntos de datos de aguja indicadora ZD2...ZD4 y se calcula a partir de

-

$$D_2 X_2^2 + E_2 X_2 + F_2 = 0 \quad \text{y} \quad X_2 > 0$$

10

- la variación relativa de la resistencia reactiva se define o está definida por

$$\Delta X = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_2} \right|$$

15

-  $X_0$  es un valor límite superior predeterminado.

En una forma de realización se especifica que

- XO se ajusta, en particular en caso necesario, a un valor mayor que 15% y/o menor que 60% o a 15% o 18% o 20% o 22% o 25% o 30% o 35% o 40% o 45% o 50% o 55% o 60%.

En una forma de realización se especifica que

- 5
- en caso de que no se cumpla el criterio de estabilidad se determina cuánta potencia reactiva capacitiva o inductiva es necesaria para cumplir el criterio de estabilidad y se activa correspondientemente una instalación de compensación de potencia reactiva correspondientemente dimensionada, que está unida con la segunda red de corriente alterna; y/o
- 10
- se determina la potencia reactiva capacitiva y/o inductiva necesaria con ayuda de un cálculo de flujo de carga o de otra manera; y/o
  - la instalación de compensación de potencia reactiva comprende al menos un banco de condensadores y/o al menos una bobina.

15 En una forma de realización se especifica que

- se realiza al menos uno de los cálculos de flujo de carga según el método de Backward-Forward-Sweep o el método de Newton-Raphson o de otra manera; y/o
  - se determina al menos una de las funciones objetivo con ayuda del método del cuadrado más pequeño o del método del cuadro más pequeño ponderado o de otra manera; y/o
  - se minimiza al menos una de las funciones objetivo con ayuda del método Levenberg-Marquard o de otra manera;
  - se capturan las magnitudes de corriente alterna a una cadencia predeterminada y/o se adquieren los conjuntos de datos de aguja indicadora a una cadencia predeterminada; y/o
- 20
- para cada cadencia, se ajusta su duración, en particular en caso necesario, a un valor mayor que 10 ms o 100 ms o 120 ms o 150 ms y/o a un valor menor que 20 s o a 10 ms o 20 ms o 50 ms o 100 ms o 120 ms o 150 ms o 200 ms o 500 ms o 1 s o 2 s o 5 s o 10 s o 15 s o 20 s; y/o
  - la primera red de corriente alterna es temporalmente más estable que la segunda red de corriente alterna; y/o
- 25
- la primera red de corriente alterna está en un primer plano de tensión y la segunda red de corriente alterna está en un segundo plano de tensión, que está por debajo del primer plano de tensión; y/o
  - se adquieren los datos de aguja indicadora en base a que se miden las evoluciones temporales de la intensidad de corriente y la tensión en los bornes o conexiones del lado primario y/o del lado secundario del transformador de regulación.
- 30

35 En una forma de realización de la instalación se especifica que

- la instalación está formada de tal manera que realiza o puede realizar al menos uno de los métodos propuestos y/o al menos una de las formas de realización del método; y/o
  - el equipo de control está formado de tal manera que realiza o puede realizar al menos uno de los métodos propuestos y/o al menos una de las formas de realización del método.
- 40

45 Con cada una de las instalaciones propuestas puede realizarse por ejemplo uno de los métodos propuestos. Cada una de las instalaciones propuestas puede estar configurada a modo de ejemplo y/o puede servir y/o es adecuada para que realice y/o pueda realizar uno de los métodos propuestos.

Las explicaciones con relación a uno de los aspectos de la invención, en particular a características individuales de este aspecto, se aplican correspondientemente también de forma análoga para los otros aspectos de la invención.

50 A continuación, se explican con más detalle formas de realización de la invención a modo de ejemplo con ayuda de los dibujos adjuntos. Sin embargo, las características individuales resultantes de ello no están limitadas a las formas de realización individuales, sino que pueden unirse y/o combinarse con otras características individuales descritas anteriormente y/o con características individuales de otras formas de realización. Los detalles de los dibujos deben interpretarse de manera solo explicativa pero no limitativa. Los símbolos de referencia contenidos en las reivindicaciones no deben limitar de ninguna forma el ámbito de protección de la invención, sino que se remiten solamente a las formas de realización mostradas en los dibujos.

55

Los dibujos muestran en

- 60
- La figura 1, una forma de realización preferida de una instalación eléctrica para acoplar dos redes de corriente alterna que comprende un transformador de regulación con relación de transformación ajustable y desarrolla una forma de realización preferida de un método para controlar el transformador de regulación;
  - La figura 2, un diagrama de proceso del método de la figura;
  - La figura 3, el campo de líneas características P-U para la segunda red de corriente alterna de la figura 1.
- 65

- En la figura 1 está representada esquemáticamente una forma de realización preferida de una instalación eléctrica 10 que acopla una con otra unas redes de corriente alterna primera y segunda 11, 12. La instalación 10 comprende un transformador de regulación 13 con relación de transformación ajustable  $\bar{u}$ , que está conectado entre las redes de corriente alterna 11, 12, un equipo de medición 14, que comprende a modo de ejemplo un sensor de corriente 141 y un sensor de tensión 142, un equipo de control 15, que está acoplado con el equipo de medición 14 y el transformador de regulación 13, y una instalación de compensación de potencia reactiva 16, que está conectado entre el transformador de regulación 13 y la segunda red de corriente alterna 12 y está acoplado con el equipo de control 15.
- Los sensores 141, 142 están acoplados a una línea que está conectada a uno de los bornes de salida del transformador de regulación 13 en su lado secundario, que está unido con la segunda red de corriente alterna 12. El sensor de corriente 141 captura la evolución temporal de la intensidad de corriente  $i$ , y el sensor de tensión 142 captura la evolución temporal de la tensión  $u$ . Seguidamente, el equipo de medición 14 captura por medio de los sensores 141, 142 magnitudes de corriente alterna de la segunda red de corriente alterna 12, principalmente  $i$  y  $u$ , que son características para los datos de aguja indicadora de las dos redes de corriente alterna 11, 12, y a partir de las cuales pueden adquirirse estos datos de aguja indicadora. No obstante, es posible también que al menos uno de los sensores 141, 142 esté acoplado a una línea que está conectada a uno de los bornes de entrada del transformador de regulación 13 en su lado primario, que está unido con la primera red de corriente alterna 11.
- La instalación de compensación de potencia reactiva 16 comprende tres bancos de condensadores dimensionados de manera diferente, que pueden conectarse, en caso necesario, siempre por medio de un disyuntor a la segunda red de corriente alterna 12 o pueden separarse de esta.
- La instalación 10 está formada de tal manera que puede desarrollar una forma de realización preferida de un método para controlar el transformador de regulación 13 y/o para influenciar o controlar las dos redes de corriente alterna 11, 12.
- En la figura 2 está representada esquemáticamente la forma de realización del método.
- En una etapa a, el equipo de control 15 adquiere los datos de aguja indicadora a partir de las magnitudes de corriente alterna  $i$ ,  $u$  captadas por el equipo de medición 14.
- En una etapa b, el equipo de control 15 vigila los datos de aguja indicadora y prepara según el resultado de la vigilancia, con ayuda de los datos de aguja indicadora, una señal de conmutación para el transformador de regulación 13, que contiene una relación de transformación deseada que corresponde a una tensión deseada. En caso de que el equipo de control 15 no prepare la señal de conmutación, entonces salta a la etapa a; de lo contrario ejecuta la etapa c.
- En la etapa c, el equipo de control 15 adquiere para la primera red de corriente alterna 11 un diagrama eléctrico equivalente con sus parámetros.
- En una etapa d, el equipo de control 15 adquiere para la segunda red de corriente alterna un modelo de carga con sus parámetros.
- En una etapa e, el equipo de control 15 adquiere a partir de los datos de aguja indicadora los parámetros de diagrama eléctrico equivalente y los parámetros de modelo de carga.
- En una etapa f, el equipo de control 15 predice, para la relación de transformación deseada, un punto de trabajo  $A'$  de la segunda red de corriente alterna 12.
- En una etapa g, el equipo de control 15 comprueba para el punto de trabajo  $A'$  predicho un criterio de estabilidad en la segunda red de corriente alterna 12. En caso de que se cumpla el criterio de estabilidad, entonces el equipo de control 15 realiza la etapa h; en caso contrario realiza la etapa i.
- En la etapa h, el equipo de control 15 envía la señal de conmutación preparada al transformador de regulación 13 y salta a la etapa a. El transformador de regulación 13, tras recibir la señal de conmutación, conmuta a la relación de transformación deseada.
- En la etapa i, el equipo de control 15 determina cuánta potencia reactiva es necesaria para cumplir el criterio de estabilidad.
- En una etapa j, el equipo de control 15 comprueba si la instalación de compensación de potencia reactiva 16 puede suministrar la potencia reactiva necesaria. En caso de que sea así, entonces realiza la etapa k; en caso contrario realiza la etapa l.

5 En la etapa k, el equipo de control 15 envía a la instalación de compensación de potencia reactiva 16 una señal de desconexión que incluye una potencia reactiva deseada que depende de la potencia reactiva necesaria y puede alimentar a la instalación de compensación de potencia reactiva 16. Tras la recepción de la señal de desconexión, la instalación de compensación de potencia reactiva 16 separa de la segunda red de corriente alterna 12 los bancos de condensadores necesarios para la potencia reactiva deseada. Por tanto, se reduce la alimentación de potencia reactiva capacitiva y disminuye la tensión U en la segunda red de corriente alterna 12. Esta alimentación reducida de potencia reactiva capacitiva corresponde a una alimentación elevada de potencia reactiva inductiva y el factor activo coscp de la segunda red de corriente alterna 12 se desplaza en dirección "inductiva". Seguidamente, el equipo de control 15, debido a la tensión disminuida U, adquiere de nuevo los datos de aguja indicadora y, con ayuda de estos datos de aguja indicadora, prepara una nueva señal de conmutación para el transformador de regulación 13, que contiene una nueva relación de transformación deseada, que corresponde a la tensión deseada. Salta entonces a la etapa h.

15 En la etapa l, el equipo de control 15 envía a la instalación de compensación de potencia reactiva 16 una señal de desconexión que contiene la potencia reactiva máxima, que puede alimentar a la instalación de compensación de potencia reactiva 16, y salta a la etapa h. La instalación de compensación de potencia reactiva 16, tras la recepción de la señal de desconexión, separa todos los bancos de condensadores de la segunda red de corriente alterna 12.

20 En una etapa m, el equipo de control 15 genera una señal de aviso y salta a la etapa a.

25 Antes de que el equipo de control 15 realice de nuevo la etapa e, comprueba un criterio de variación de estado para el estado de la primera red de corriente alterna 11. En caso de que se cumpla el criterio de variación de estado, entonces repite la adquisición de los parámetros de diagrama eléctrico equivalente; en caso contrario acepta los parámetros de diagrama eléctrico equivalente existentes.

Para esta comprobación del criterio de variación de estado, el equipo de control 15 define primero una impedancia total que describe la primera red de corriente alterna 11 y el transformador de regulación 13, por

$$\underline{Z} = R + jX = \frac{\underline{Z}_{Th} + \underline{Z}_{Trf}}{i^2} ,$$

30 donde:

- $\underline{Z}_{Th}$  es la impedancia Thévenin;
- $\underline{Z}_{Trf}$  es la impedancia del transformador de regulación 13;
- R es la resistencia activa de la impedancia total;
- X es la impedancia reactiva de la impedancia total;

El equipo de control 15 comprueba entonces el criterio de variación de estado, para lo cual

- a partir del más reciente conjunto de datos de aguja indicadora ZD1 y los tres conjuntos de datos de aguja indicadora anteriores ZD2, ZD3, ZD4, se calculan respectivamente la tensión  $u_i$ , la intensidad de corriente  $i_j$ , la potencia activa  $P_i$  y la potencia reactiva  $Q_i$  (con  $i = 1 \dots 4$ );
- se comprueba si al menos no se cumple una de las siguientes condiciones

$$E_1^2 - 4D_1F_1 \geq 0$$

$$\Delta X < X_0$$

- 45 - se utilizan las siguientes definiciones:

## ES 2 779 782 T3

$$A_1 = (u_1^2 - u_2^2)(i_1^2 - i_3^2) - (u_1^2 - u_3^2)(i_1^2 - i_2^2)$$

$$A_2 = (u_2^2 - u_3^2)(i_2^2 - i_4^2) - (u_2^2 - u_4^2)(i_2^2 - i_3^2)$$

$$B_1 = 2(P_1 - P_2)(i_1^2 - i_3^2) - 2(P_1 - P_3)(i_1^2 - i_2^2)$$

$$B_2 = 2(P_2 - P_3)(i_2^2 - i_4^2) - 2(P_2 - P_4)(i_2^2 - i_3^2)$$

$$C_1 = 2(Q_1 - Q_2)(i_1^2 - i_3^2) - 2(Q_1 - Q_3)(i_1^2 - i_2^2)$$

$$C_2 = 2(Q_2 - Q_3)(i_2^2 - i_4^2) - 2(Q_2 - Q_4)(i_2^2 - i_3^2)$$

$$D_1 = \frac{B_1^2 + C_1^2}{B_1^2} (i_1^2 - i_2^2)$$

$$D_2 = \frac{B_2^2 + C_2^2}{B_2^2} (i_2^2 - i_3^2)$$

$$E_1 = \frac{2A_1C_1}{B_1^2} (i_1^2 - i_2^2) - 2\frac{C_1}{B_1} (P_1 - P_2) + 2(Q_1 - Q_2)$$

$$E_2 = \frac{2A_2C_2}{B_2^2} (i_2^2 - i_3^2) - 2\frac{C_2}{B_2} (P_2 - P_3) + 2(Q_2 - Q_3)$$

$$F_1 = (u_1^2 - u_2^2) + \frac{A_1^2}{B_1^2} (i_1^2 - i_2^2) - 2\frac{A_1}{B_1} (P_1 - P_2)$$

$$F_2 = (u_2^2 - u_3^2) + \frac{A_2^2}{B_2^2} (i_2^2 - i_3^2) - 2\frac{A_2}{B_2} (P_2 - P_3) ,$$

donde:

- 5  $X_1$  es la resistencia reactiva de la impedancia total para los conjuntos de datos de aguja indicadora ZD1 ... ZD3 y se calcula a partir de

$$D_1 X_1^2 + E_1 X_1 + F_1 = 0 \quad y \quad X_1 > 0$$

- 10  $X_2$  es la resistencia reactiva de la impedancia total para los conjuntos de datos de aguja indicadora ZD2...ZD4 y se calcula a partir de

$$D_2 X_2^2 + E_2 X_2 + F_2 = 0 \quad y \quad X_2 > 0$$

$\Delta X$  es la variación relativa de la resistencia reactiva y se calcula a partir de

$$\Delta X = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_2} \right|$$

- 15 XO es un valor límite superior predeterminado.

En la etapa c, el equipo de control 15 adquiere el diagrama eléctrico equivalente, para lo cual forma el diagrama eléctrico equivalente según el teorema de Thévenin.

- 20 En la etapa e, el equipo de control 15 adquiere parámetros de diagrama eléctrico equivalente, para lo cual

- se adquieren y acumulan una relación de transformación y, para un número predeterminado M de instantes, los datos de aguja indicadora;
- se selecciona para el teorema de Thévenin como función objetivo

$$L = \sum_{k=1}^M \left\{ \left( \frac{E_{Th}}{\ddot{u}} \right)^2 - \left[ u_k^2 + 2Z(P_k \cos \vartheta + Q_k \sin \vartheta) + (Zi_k)^2 \right] \right\}^2$$

- 25 con las condiciones secundarias

## ES 2 779 782 T3

$$EU \leq E_{Th} \leq EO, \text{ con } EU < 1 \text{ y } EO > 1$$

$$Z > 0$$

$$TU \leq \tan \vartheta \leq TO$$

donde:

- 5  $\bar{u}$  es la relación de transformación que se asume constante o se presupone constante;  
ZDk es un conjunto de datos de aguja indicadora que contiene los datos de aguja indicadora acumulados en un k-ésimo instante (con  $k = 1 \dots M$ );  
P<sub>k</sub> es la potencia activa calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;  
Q<sub>k</sub> es la potencia reactiva calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;  
10  $i_k$  es la intensidad de corriente calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk cuyo valor está indicado en particular según el sistema por unidad;  
 $u_k$  es la tensión calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk cuyo valor está indicado en particular según el sistema por unidad;  
 $E_{Th}$  es la tensión Thévenin;
- 15 se define o está definida una impedancia total, que describe la primera red de corriente alterna (11) y el transformador de regulación (13), por

$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\vartheta} = \frac{\underline{Z}_{Th} + \underline{Z}_{Trf}}{i^2}$$

- 20  $\underline{Z}_{Th}$  es la impedancia Thévenin;  
 $\underline{Z}_{Trf}$  es la impedancia del transformador de regulación (13);  
Z es la resistencia aparente de la impedancia total;  
 $\vartheta$  es el ángulo de fase de la impedancia total;  
Z,  $\vartheta$  y  $E_{Th}$  son los parámetros de diagrama eléctrico equivalente;  
EU y EO son valores límite inferior y superior predeterminados;  
25 TU y TO son valores límite inferior y superior predeterminados;

- EU se ajusta a 0,8, EO a 1,2, TU a 5 y TO a 20;  
- se calculan los parámetros de diagrama eléctrico equivalente minimizando la función objetivo con ayuda del método Levenberg-Marquard.

30 En la etapa d, el equipo de control 15 adquiere el modelo de carga, para lo cual elige un modelo de carga combinado.

35 En la etapa e, el equipo de control 15 adquiere los parámetros de modelo de carga, para lo cual:

- para un número N predeterminado de conmutaciones a una relación de transformación deseada, se adquieren y acumulan los datos de aguja indicadora antes y después de cada una de estas conmutaciones;
- para el modelo de carga combinado se eligen como primera función objetivo

$$J = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^{x_4} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^{x_4} \right] x_1 + \left[ u_{1,k}^{x_5} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^{x_5} \right] x_2 + \left[ u_{1,k}^{x_6} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^{x_6} \right] x_3 \right\}^2$$

y como segunda función objetivo

$$K = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^{y_4} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^{y_4} \right] y_1 + \left[ u_{1,k}^{y_5} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^{y_5} \right] y_2 + \left[ u_{1,k}^{y_6} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^{y_6} \right] y_3 \right\}^2$$

con las condiciones secundarias

$$0 \leq x_i \leq 1 \text{ y } 0 \leq y_i \leq 1, \text{ con } i = 1..3$$

$$0 \leq x_j \text{ y } 0 \leq y_j, \text{ con } j = 4..6$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = y_1 + y_2 + y_3 = 1$$

donde:

$P_{ik}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;

$P_{2,k}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;

$Q_{1,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;

$Q_{2,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;

$u_{1,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación, cuyo valor está indicado según el sistema por unidad,  $u_{2,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación, cuyo valor está indicado según el sistema por unidad,  $x_i, x_j, y_i, y_j$  son los respectivos parámetros de modelo de carga.

- se calculan los parámetros de modelo de carga minimizando las funciones objetivo con ayuda del método Levenberg-Marquard.

En esta forma de realización, la adquisición de los parámetros de modelo de carga se realiza únicamente cuando se alcanza el número predeterminado N de conmutaciones y, por tanto, hay suficientes datos de aguja indicadora. Previamente, el equipo de control 15 realiza esta adquisición con ayuda de parámetros de modelo de carga predeterminados.

En la figura 3, se visualiza el campo de curvas características P-U para la segunda red de corriente alterna 12 que aúna las curvas características P-U para diferentes factores activos  $\cos\phi$ . Se muestran aquí solamente tres curvas características, principalmente una primera curva característica KL1 en línea continua para  $\cos\phi=1$ , una segunda curva característica KL2 en línea de trazos para  $\cos\phi < 1$  en el caso de carga capacitiva, y una tercera curva característica KL3 en línea de puntos para  $\cos\phi < 1$  bajo carga inductiva. Cada una de estas curvas características presenta dos puntos característicos, principalmente el punto límite G1, G2, G3 y el punto Hopf H1, H2, H3. En el punto límite G está la potencia activa límite  $P_G$ , que es la mayor potencia activa de la respectiva curva característica; allí está sobrecargada la segunda red de corriente alterna 12. En el punto Hopf H está la potencia activa Hopf  $P_H$ ; a potencias activas menores, es estable la segunda corriente alterna 12 y a potencias activas mayores esta es inestable.

En el caso de que ahora el punto de trabajo actual A de la segunda red de corriente alterna 12 esté en la primera curva característica KL1 en zona estable a la izquierda de H1 y el equipo de control 15 debería reducir de hecho tan fuertemente la correspondiente tensión actual U en la segunda red de corriente alterna 12 a una tensión deseada U', por conmutación del transformador de regulación 13 a una relación de transformación deseada, que el punto de trabajo A1' predicho correspondientemente por este estaría en una zona inestable a la derecha de H1, impidiendo entonces de momento dicho equipo esta conmutación. Además, comprobará si la instalación de compensación de potencia reactiva 16 puede alimentar suficiente potencia reactiva, de modo que el factor activo  $\cos\phi$  así modificado

defina una curva característica que es aquí, por ejemplo, la tercera curva característica KL3, cuyo punto Hopf  $k_3$  está por debajo de la tensión deseada  $U'$ . En efecto, en este caso, el punto de trabajo A migraría de momento hacia  $A_3''$  por la conmutación de la instalación de compensación de potencia reactiva 16 según la fecha a esta tercera curva características KL3. Desde allí dicho punto de trabajo migraría entonces a un nuevo punto de trabajo  $A_3'$ , por la conmutación del transformador de regulación 13, a una nueva relación de transformación deseada, que corresponde a la misma tensión  $U'$  deseada reducida en comparación con la tensión actual  $U$ , cuyo nuevo punto de trabajo estaría en la zona estable de esta tercera curva característica KL3 a la izquierda de  $H_3$ . Por tanto, en el caso de que esta comprobación de la instalación de compensación de potencia reactiva 16 tenga éxito, entonces el equipo de control 12 activará correspondientemente la instalación de compensación de potencia reactiva 16 y liberará la conmutación del transformador de regulación 13; de lo contrario, impedirá además la conmutación del transformador de regulación 13.

El equipo de control 15 calcula este campo de curvas características con ayuda de un cálculo de flujo de carga según el método Backward-Forward-Sweep.

En la etapa f, el equipo de control 15 predice el punto de trabajo  $A'$  con ayuda del cálculo de flujo de carga.

En la etapa g, el equipo de control 15 comprueba el criterio de estabilidad, para lo cual

- para el estado actual de la segunda red de corriente alterna 12, se adquiere con ayuda del cálculo de flujo de carga una reserva de estabilidad

$$\Delta P = P_G - P_H$$

- para el punto de trabajo predicho  $A'$  se comprueba si se cumple

$$P_G - P' > \Delta P$$

donde

$P_G$  es la potencia activa límite de la curva característica P-U,  
 $P'$  es la potencia activa del punto de trabajo predicho  $A'$ ,  
 $P_H$  es la potencia activa Hopf de la curva característica P-U.

Símbolos de referencia

10	instalación eléctrica
11	primera red de corriente alterna
12	segunda red de corriente alterna
13	transformador de regulación
14	equipo de medición
141/142	sensor de corriente/sensor de tensión de 14
15	equipo de control
16	instalación de compensación de potencia reactiva
A	punto de trabajo actual sobre la curva característica P-U
A'	punto de trabajo predicho sobre la curva característica P-U
$E_{Th}$	tensión Thévenin, parámetro de diagrama eléctrico equivalente
G	punto límite de la curva característica P-U
H	punto Hopf de la curva característica P-U
$i_k$	intensidad de corriente, calculada a partir de ZDk
M	número de instantes para adquirir los datos de aguja indicadora
N	número de conmutadores a una $\tilde{u}$ deseada
$P_k$	potencia activa calculada a partir de ZDk
$P_{1,k}$	potencia activa según la k-ésima conmutación
$P_{2,k}$	potencia activa según la k-ésima conmutación
$P_G$	potencia activa límite de la curva característica P-U
$P_H$	potencia activa Hopf de la curva característica P-U
$P'$	potencia activa de $A'$
$\Delta P$	reserva de estabilidad
$Q_k$	potencia reactiva calculada a partir de ZDk
$Q_{1,k}$	potencia reactiva antes de la k-ésima conmutación
$Q_{2,k}$	potencia reactiva después de la k-ésima conmutación
R	resistencia activa de $\underline{Z}$
$u_k$	tensión, calculada a partir de ZDk

	$u_{1,k}$	tensión antes de la k-ésima conmutación
	$u_{2,k}$	tensión después de la k-ésima conmutación
	$\bar{u}$	relación de transformación de 13
	$x, x_i, x_j$	parámetros de modelo de carga
5	$X$	resistencia reactiva de $\underline{Z}$
	$y, y_i, y_j$	parámetros de modelo de carga
	$ZD_j$	conjunto de datos de aguja indicadora para un j-ésimo instante
	$\underline{Z}$	impedancia total
	$Z$	resistencia aparente de $\underline{Z}$ , parámetro de diagrama eléctrico equivalente
10	$\underline{Z}_{Th}$	impedancia Thévenin
	$\underline{Z}_{Trf}$	impedancia del transformador de regulación
	$\vartheta$	ángulo de fase de $\underline{Z}$ , parámetro de diagrama eléctrico equivalente
	$\cos\varphi$	factor activo de 12

**REIVINDICACIONES**

1. Método para controlar un transformador de regulación (13) con relación de transformación ajustable, que está conectado entre unas redes de corriente alterna primera y segunda (11, 12), en el que

- 5 - se determinan (a) los datos de agujas indicadoras de las redes de corriente alterna primera y/o segunda (11, 12);
- se realiza la adquisición de los datos de aguja indicadora de las redes de corriente alterna primera y/o segunda (11, 12) en el transformador de regulación (13);
- 10 - se adquiere (c) para la primera red de corriente alterna (11) un diagrama eléctrico equivalente con sus parámetros;
- se adquiere (d) para la segunda red de corriente alterna (12) un modelo de carga con sus parámetros;
- se adquieren (e) los parámetros del diagrama eléctrico equivalente y los parámetros de modelo de carga a partir de los datos de aguja indicadora;
- 15 - cuando deba conmutarse (b) a una relación de transformación deseada,
  - se predice (f) un punto de trabajo (A') de la segunda red de corriente alterna (12) para la relación de transformación deseada;
  - se comprueba (g) un criterio de estabilidad en la segunda red de corriente alterna (12) para el punto de trabajo predicho (A');
  - en caso de que se cumpla el criterio de estabilidad, se conmuta (h) a la relación de transformación deseada; en caso contrario no se conmuta, en el que
- 20 - se comprueba el criterio de estabilidad en base a que
  - se adquiere una reserva de estabilidad  $\Delta P$  para el estado actual (A) de la segunda red de corriente alterna (12);
  - se comprueba para el punto de trabajo predicho (A'), si se cumple

$$P_G - P' > \Delta P$$

- 30 -  $P_G$  es la potencia activa límite de la curva característica P-U;
- $P'$  es la potencia activa del punto de trabajo (A') predicho;
- se elige como reserva de estabilidad

$$\Delta P = P_G - P_H$$

- $P_H$  es la potencia activa Hopf de la curva característica P-U.

2. Método según la reivindicación anterior, en el que

- se forma el diagrama eléctrico equivalente según el teorema de Thévenin o el teorema de Norton.

3. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- 45 - se adquieren los parámetros de diagrama eléctrico equivalente en base a que
  - se adquieren y acumulan los datos de aguja indicadora para un número predeterminado M de instantes;
  - se adquiere una función objetivo utilizando los datos acumulados de aguja indicadora;
  - se calculan los parámetros de diagrama eléctrico equivalente minimizando la función objetivo.

4. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- 55 - para el teorema de Thévenin se elige como función objetivo

$$L = \sum_{k=1}^M \left\{ \left( \frac{E_{Th}}{\ddot{u}} \right)^2 - \left[ u_k^2 + 2Z(P_k \cos \vartheta + Q_k \operatorname{sen} \vartheta) + (Zi_k)^2 \right] \right\}^2$$

con las condiciones secundarias

$$EU \leq E_{Th} \leq EO, \text{ con } EU < 1 \text{ y } EO > 1$$

$$Z > 0$$

$$TU \leq \tan \vartheta \leq TO$$

- 5
- $\ddot{u}$  es la relación de transformación;
  - ZDk es un conjunto de datos de aguja indicadora que contiene los datos de aguja indicadora acumulados en un k-ésimo instante (con  $k = 1 \dots M$ );
  - $P_k$  es la potencia activa calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;
  - $Q_k$  es la potencia reactiva calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;
  - 10 -  $i_k$  es la intensidad de corriente calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;
  - $u_k$  es la tensión calculada a partir del conjunto de datos de aguja indicadora ZDk;
  - $E_{Th}$  es la tensión Thévenin;
  - se define una impedancia total, que describe la primera red de corriente alterna (11) y el transformador de regulación (13), por

15

$$\underline{Z} = Z \cdot e^{j\vartheta} = \frac{\underline{Z}_{Th} + \underline{Z}_{Trf}}{\ddot{u}^2}$$

- 20
- $\underline{Z}_{Th}$  es la impedancia Thévenin;
  - $\underline{Z}_{Trf}$  es la impedancia del transformador de regulación (13);
  - $Z$  es la resistencia aparente de la impedancia total;
  - $\vartheta$  es el ángulo de fase de la impedancia total;
  - $Z$ ,  $\vartheta$  y  $E_{Th}$  son los parámetros de diagrama eléctrico equivalente;
  - $EU$  y  $EO$  son valores límite inferior y superior predeterminados;
  - 25 -  $TU$  y  $TO$  son valores límite inferior y superior predeterminados.

5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- 30
- el modelo de carga modela la segunda red de corriente alterna (12) como una carga total dependiente de la tensión; y/o
  - el modelo de carga describe la potencia activa y la potencia reactiva de la segunda red de corriente alterna (12) en función de la tensión aplicada.

6. Método según la reivindicación anterior, en el que

- 35
- se modela el modelo de carga en base a que
    - para un número predeterminado N de conmutaciones se adquieren y acumulan los datos de aguja indicadora antes y después de cada una de estas conmutaciones;
    - se adquieren una primera función objetivo para la potencia activa y una segunda función objetivo para la potencia reactiva utilizando los datos de aguja indicadora acumulados;
    - se calculan los parámetros de modelo de carga minimizando las funciones objetivo.
- 40

7. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- 45
- el modelo de carga es un modelo de carga exponencial o un modelo de carga polinómico o un modelo de carga combinado.

8. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- 50
- para el modelo de carga exponencial se eligen como primera función objetivo

$$J = \sum_{k=1}^N \left[ \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} - \left( \frac{u_{1,k}}{u_{2,k}} \right)^x \right]^2$$

y como segunda función objetivo

$$K = \sum_{k=1}^N \left[ \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} - \left( \frac{u_{1,k}}{u_{2,k}} \right)^y \right]^2$$

5

con las condiciones secundarias

$$0 \leq x \leq 2$$

10

$$0 \leq y \leq YO$$

- para el modelo de carga polinómico se eligen como primera función objetivo

15

$$J = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^2 - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^2 \right] x_1 + \left[ u_{1,k} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k} \right] x_2 + \left[ 1 - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} \right] x_3 \right\}^2$$

y como segunda función objetivo

20

$$K = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^2 - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^2 \right] y_1 + \left[ u_{1,k} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k} \right] y_2 + \left[ 1 - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} \right] y_3 \right\}^2$$

25

con las condiciones secundarias

$$0 \leq x_i \leq 1 \text{ y } 0 \leq y_i \leq 1, \text{ con } i = 1 \dots 3$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = y_1 + y_2 + y_3 = 1$$

- para el modelo de carga combinado se eligen como primera función objetivo

30

$$J = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^{x_4} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^{x_4} \right] x_1 + \left[ u_{1,k}^{x_5} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^{x_5} \right] x_2 + \left[ u_{1,k}^{x_6} - \frac{P_{1,k}}{P_{2,k}} u_{2,k}^{x_6} \right] x_3 \right\}^2$$

y como segunda función objetivo

$$K = \sum_{k=1}^N \left\{ \left[ u_{1,k}^{y_4} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^{y_4} \right] y_1 + \left[ u_{1,k}^{y_5} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^{y_5} \right] y_2 + \left[ u_{1,k}^{y_6} - \frac{Q_{1,k}}{Q_{2,k}} u_{2,k}^{y_6} \right] y_3 \right\}^2$$

5 con las condiciones secundarias

$$0 \leq x_i \leq 1 \text{ y } 0 \leq y_i \leq 1, \text{ con } i = 1...3$$

$$0 \leq x_j \text{ y } 0 \leq y_j, \text{ con } j = 4...6$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = y_1 + y_2 + y_3 = 1$$

- 10
- $P_{1,k}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;
  - $P_{2,k}$  es la potencia activa calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
  - $Q_{1,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;

15

  - $Q_{2,k}$  es la potencia reactiva calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
  - $u_{1,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados antes de la k-ésima conmutación;

20

  - $u_{2,k}$  es la tensión calculada a partir de los datos de aguja indicadora acumulados después de la k-ésima conmutación;
  - $x_i, x_j, y_i, y_j$  son los respectivos parámetros de modelo de carga;
  - YO es un valor límite superior predeterminado.

25 9. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- se predice el punto de trabajo (A') con ayuda de un cálculo de flujo de carga; y/o
- se comprueba el criterio de estabilidad con ayuda de un cálculo de flujo de carga.

30 10. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- se comprueba el criterio de estabilidad en base a que
  - para el estado actual (A) de la segunda red de corriente alterna (12) se adquiere una reserva de estabilidad  $\Delta P$ ;
  - para el punto de trabajo predicho (A') se comprueba si se cumple

$$P_G - P' > \Delta P$$

- 40
- $P_G$  es la potencia activa límite de la curva característica P-U;
  - $P'$  es la potencia activa del punto de trabajo (A') predicho;
  - se adquiere la reserva de estabilidad con ayuda de un cálculo de flujo de carga; y/o
  - se comprueba el criterio de estabilidad en función de la primera derivada  $U'(P)$  y/o del valor absoluto de la primera derivada  $|U'(P)|$  y/o de la segunda derivada  $U''(P)$  y/o del valor de la segunda derivada  $|U''(P)|$  de la curva característica P-U.

45 11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- 50
- se comprueba un criterio de variación de estado para el estado de la primera red de corriente alterna (11);
  - en caso de que se cumpla el criterio de variación de estado, se repite la adquisición de los parámetros de diagrama eléctrico equivalente;
  - se define una impedancia total, que describe la primera red de corriente alterna (11) y el transformador de regulación (13), por

$$\underline{Z} = R + jX = \frac{\underline{Z}_{Th} + \underline{Z}_{Trf}}{i^2}$$

- 5
- $\underline{Z}_{Th}$  es la impedancia Thévenin;
  - $\underline{Z}_{Trf}$  es la impedancia del transformador de regulación (13);
  - R es la resistencia activa de la impedancia total;
  - X es la resistencia reactiva de la impedancia total;
  - ZDi es un conjunto de datos de aguja indicadora que contiene los datos de aguja indicadora acumulados en un i-ésimo instante;
  - se comprueba el criterio de variación de estado en base a que
- 10
- a partir del más reciente conjunto de datos de aguja indicadora ZD1 y los tres conjuntos de datos de aguja indicadora anteriores ZD2, ZD3, ZD4, se calculan respectivamente la tensión  $u_i$ , la intensidad de corriente  $i_i$ , la potencia activa  $P_i$  y la potencia reactiva  $Q_i$  con  $i = 1 \dots 4$ ;
  - se comprueba si al menos no se cumple una de las siguientes condiciones
- 15

$$E_1^2 - 4D_1F_1 \geq 0$$

$$\Delta X < XO$$

- se utilizan las siguientes definiciones:

$$A_1 = (u_1^2 - u_2^2)(i_1^2 - i_3^2) - (u_1^2 - u_3^2)(i_1^2 - i_2^2)$$

$$A_2 = (u_2^2 - u_3^2)(i_2^2 - i_4^2) - (u_2^2 - u_4^2)(i_2^2 - i_3^2)$$

$$B_1 = 2(P_1 - P_2)(i_1^2 - i_3^2) - 2(P_1 - P_3)(i_1^2 - i_2^2)$$

$$B_2 = 2(P_2 - P_3)(i_2^2 - i_4^2) - 2(P_2 - P_4)(i_2^2 - i_3^2)$$

$$C_1 = 2(Q_1 - Q_2)(i_1^2 - i_3^2) - 2(Q_1 - Q_3)(i_1^2 - i_2^2)$$

$$C_2 = 2(Q_2 - Q_3)(i_2^2 - i_4^2) - 2(Q_2 - Q_4)(i_2^2 - i_3^2)$$

$$D_1 = \frac{B_1^2 + C_1^2}{B_1^2} (i_1^2 - i_2^2)$$

$$D_2 = \frac{B_2^2 + C_2^2}{B_2^2} (i_2^2 - i_3^2)$$

$$E_1 = \frac{2A_1C_1}{B_1^2}(i_1^2 - i_2^2) - 2\frac{C_1}{B_1}(P_1 - P_2) + 2(Q_1 - Q_2)$$

$$E_2 = \frac{2A_2C_2}{B_2^2}(i_2^2 - i_3^2) - 2\frac{C_2}{B_2}(P_2 - P_3) + 2(Q_2 - Q_3)$$

$$F_1 = (u_1^2 - u_2^2) + \frac{A_1^2}{B_1^2}(i_1^2 - i_2^2) - 2\frac{A_1}{B_1}(P_1 - P_2)$$

$$F_2 = (u_2^2 - u_3^2) + \frac{A_2^2}{B_2^2}(i_2^2 - i_3^2) - 2\frac{A_2}{B_2}(P_2 - P_3)$$

-  $X_1$  es la resistencia reactiva de la impedancia total para los conjuntos de datos de aguja indicadora ZD1...ZD3 y se calcula a partir de

5

$$D_1X_1^2 + E_1X_1 + F_1 = 0 \quad y \quad X_1 > 0$$

-  $X_2$  es la resistencia reactiva de la impedancia total para los conjuntos de datos de aguja indicadora ZD2...ZD4 y se calcula a partir de

10

$$D_2X_2^2 + E_2X_2 + F_2 = 0 \quad y \quad X_2 > 0$$

- se define la variación relativa de la resistencia reactiva por

15

$$\Delta X = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_2} \right|$$

- XO es un valor límite superior predeterminado.

20

12. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que

- en caso de que no se cumpla el criterio de estabilidad, se determina cuánta potencia reactiva es necesaria para cumplir el criterio de estabilidad y se activa una instalación de compensación de potencia reactiva (16) correspondientemente dimensionada, que está unida con la segunda red de corriente alterna.

25

13. Instalación eléctrica (10) para acoplar dos redes de corriente alterna (11, 12), que comprende

30

- un transformador de regulación (13) con relación de transformación ajustable que está conectado entre unas redes de corriente alterna primera y segunda (11, 12);

- un equipo de medición (14), que puede capturar las magnitudes de corriente alterna de las redes de corriente alterna primera y/o segunda (11, 12) en el transformador de regulación (13);

- un equipo de control (15), que está acoplado con el equipo de medición (14) y con el transformador de regulación (13), estando configurado el equipo de control (15) de tal manera que

- adquiere a partir de las magnitudes de corriente alterna los datos de agujas indicadoras de las redes de corriente alterna primera y/o segunda (11, 12);

35

- adquiere para la primera red de corriente alterna (11) un diagrama eléctrico equivalente con sus parámetros;

- adquiere para la segunda red de corriente alterna (12) un modelo de carga con sus parámetros;

- adquiere a partir de los datos de aguja indicadora los parámetros de diagrama eléctrico equivalente y los parámetros de modelo de carga;

40

- vigila los datos de aguja indicadora y según el resultado de la vigilancia prepara con ayuda de los datos de aguja indicadora una señal de conmutación, que contiene una relación de transformación deseada;

- cuando se ha preparado la señal de conmutación:

- 5
- predice un punto de trabajo (A') de la segunda red de corriente alterna (12) para la relación de transformación deseada;
  - comprueba un criterio de estabilidad en la segunda red de corriente alterna (12) para el punto de trabajo predicho (A');
  - en caso de que se cumpla el criterio de estabilidad, la señal de conmutación termina en el transformador de regulación (13); en caso contrario, no termina; en la que

10 - se comprueba el criterio de estabilidad en base a que

- se adquiere una reserva de estabilidad  $\Delta P$  para el estado actual (A) de la segunda red de corriente alterna (12);
- se comprueba para el punto de trabajo predicho (A') si se cumple

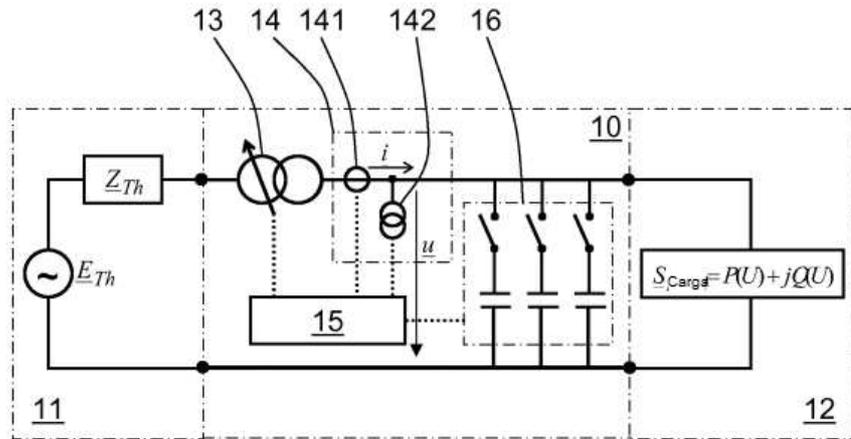
15 
$$P_G - P' > \Delta P$$

- $P_G$  es la potencia activa límite de la curva característica P-U;
- $P'$  es la potencia activa del punto de trabajo (A') predicho;
- se elige como reserva de estabilidad

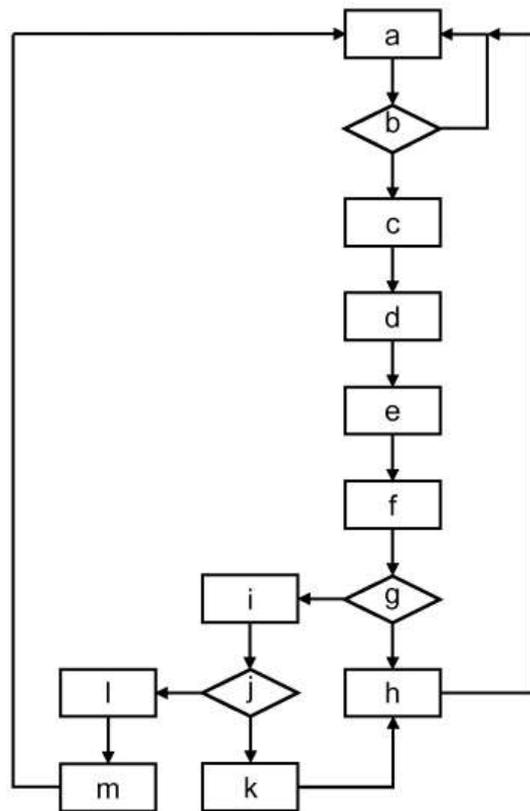
20 
$$\Delta P = P_G - P_H$$

- $P_H$  es la potencia activa Hopf de la curva característica P-U.

**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**

