

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 651 481**

51 Int. Cl.:

G01D 4/00 (2006.01)

G01R 19/25 (2006.01)

H02J 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2016** **E 16166742 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2017** **EP 3086093**

54 Título: **Procedimiento y sistema de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad y programa de ordenador asociado**

30 Prioridad:

23.04.2015 FR 1553646

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

26.01.2018

73 Titular/es:

**SCHNEIDER ELECTRIC INDUSTRIES SAS
(100.0%)
35 rue Joseph Monier
92500 Rueil-Malmaison, FR**

72 Inventor/es:

**GOUIN, VICTOR;
ALVAREZ-HERAULT, MARIE-CÉCILE;
DESCHAMPS, PHILIPPE;
MARIÉ, SYLVAIN y
LAMOUDI, YACINE**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Francisco

ES 2 651 481 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

Procedimiento y sistema de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad y programa de ordenador asociado

5 La presente invención se refiere a un procedimiento implementado por ordenador, de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad, un programa de ordenador asociado y un sistema de determinación de la estructura de la red de distribución de electricidad.

10 En el campo de la distribución de electricidad, es conocido garantizar la distribución de electricidad a una pluralidad de consumidores eléctricos a través de una red de distribución de electricidad que comprende una estación de transformación eléctrica, incluyendo la estación unas salidas eléctricas de alimentación de energía eléctrica a unos consumidores eléctricos. La estación de transformación es, por ejemplo, una estación de transformación de alta tensión/media tensión (ATB/ATA) o media tensión/baja tensión (ATA/BT) y las salidas eléctricas son unas salidas en media o en baja tensión.

La alta tensión, corresponde a una tensión superior a 50 kilovoltios (kV), la media tensión corresponde a una tensión comprendida entre 1 kV y 50 kV y la baja tensión corresponde a una tensión inferior a 1 kV.

15 En dichas redes de distribución eléctrica, los consumidores se alimentan o bien en trifásica, o bien en monofásica, y la estación de transformación se configura para repartir la potencia eléctrica que recibe entre las diferentes salidas eléctricas.

20 No obstante, la estructura, y más precisamente la cartografía, de las redes de distribución de electricidad que alimentan los consumidores eléctricos es generalmente mal conocida. Ahora bien, el conocimiento de la estructura de dichas redes se convierte en esencial para responder a las restricciones que los reguladores nacionales imponen a los distribuidores de electricidad, principalmente en términos de calidad del suministro de electricidad.

25 En efecto, los reguladores nacionales imponen a los distribuidores electricidad unos objetivos de calidad de servicio, y estos deben ser medibles. Los distribuidores de electricidad tienen por tanto necesidad a partir de ahora de conocer mejor la estructura de las redes de distribución de electricidad, principalmente para localizar los eventuales defectos o faltas en la red o incluso para identificar las salidas de la estación de transformación que contribuyen más en términos de pérdidas eléctricas.

30 Se conoce así por el documento EP 2.458.340 A2 un procedimiento que permite determinar la estructura de una red de distribución de electricidad a partir de medios de cálculo específicos y de informaciones relativas a la energía eléctrica consumida por cada consumidor eléctrico conectado a la red y relativas a la energía eléctrica suministrada por cada salida de la estación de transformación. Los documentos US 2011/0184567 A1, WO 2009/061291 A1 y WO 2012/113936 A1 divulgan diferentes métodos de determinación de la jerarquía y la conectividad de una red de distribución de electricidad. No obstante, continúan siendo mejorables la rapidez de ejecución, la precisión y la fiabilidad de un procedimiento de ese tipo.

35 El objetivo de la invención es por tanto proponer un procedimiento robusto de determinación de la estructura de la red de distribución de electricidad que permita determinar la estructura de la red de distribución de electricidad de manera más segura, más fiable y más rápida. Un procedimiento de ese tipo permite principalmente superar errores, por ejemplo vinculados a unas imprecisiones de medición de la energía consumida y/o suministrada o a la ausencia de ciertas medidas de energía.

40 A tal efecto, la invención tiene por objeto un procedimiento de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad siendo implementado el procedimiento por ordenador, comprendiendo la red de distribución una estación de alimentación que incluye una o varias salidas de alimentación de energía eléctrica a varios consumidores eléctricos y que comprende las etapas siguientes:

- 45 - a) la adquisición, para cada consumidor eléctrico, de primeros datos relativos a la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico durante diferentes intervalos temporales, medidos a través de un primer sensor de medida de energía,
- b) la adquisición, para cada salida, de segundos datos relativos a la energía eléctrica suministrada por la salida durante los diferentes intervalos temporales, medidos a través de un segundo sensor de medida de energía,
- 50 - c) la generación, a través de un módulo de generación, de varios juegos de datos diferentes, asociados cada uno a uno de los intervalos temporales, comprendiendo cada juego de datos los primeros y segundos datos asociados a dicho intervalo temporal,

caracterizado porque el procedimiento comprende además las etapas siguientes:

- d) el cálculo de un primer criterio de selección para cada juego de datos, siendo el primer criterio de selección un criterio elegido entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas y los consumidores y una diferencia en el consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores,
- 55 - e) la selección, por una unidad de selección y en función de los primeros criterios de selección calculados, de un

- primer conjunto de juegos de datos entre los juegos generados,
- f) la determinación, a partir del primer conjunto seleccionado, de parámetros de conexión, incluyendo dichos parámetros para cada consumidor eléctrico un identificador de la salida a la que está conectado.

5 Gracias a la invención, las etapas de selección del primer conjunto de juegos de datos en función de los primeros criterios de selección calculados y de determinación de los parámetros de conexión a partir del primer conjunto seleccionado permiten determinar de manera más fiable y más rápida la estructura de la red de distribución de electricidad.

10 Según otros aspectos ventajosos de la invención, el procedimiento de determinación comprende además una o varias de las características siguientes, tomadas aisladamente o según todas las combinaciones técnicamente admisibles:

- durante la etapa de cálculo d), se calcula un segundo criterio de selección para cada juego de datos generado, siendo el segundo criterio el otro criterio elegido entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas y los consumidores y una diferencia de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores,

15 y, durante la etapa de selección e), se selecciona el primer conjunto en función de los primeros y segundos criterios calculados;

- a continuación de la etapa de selección e), el procedimiento comprende las etapas siguientes:

- e1) el cálculo del segundo criterio de selección para cada juego de datos del primer conjunto, siendo el segundo criterio el otro criterio elegido entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas y los consumidores y una diferencia de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores,
 - e2) la selección en función de los segundos criterios de selección calculados
- 20

25 de un segundo conjunto de juegos de datos entre el primer conjunto, efectuándose entonces la determinación de los parámetros de conexión durante la etapa de determinación f) en función del segundo conjunto seleccionado entre el primer conjunto;

- durante la etapa de determinación f), los parámetros de conexión se determinan por separado para cada salida e independientemente de los segundos datos relativos a la energía adquiridos para las otras salidas;
 - durante la etapa de determinación f), se determina un sistema de ecuaciones a resolver a partir de un postulado de conservación de la energía eléctrica para cada salida según el que la energía suministrada por la salida es sustancialmente igual a la suma de la energía consumida por los consumidores eléctricos conectados a la salida y de unas pérdidas eléctricas;
 - durante la etapa de determinación f), se define el sistema de ecuaciones a partir de la ecuación siguiente:
- 30

$$E_{Dj}(t_k) = \sum_{i=1}^n (a_{ij} \cdot E_{Ci}(t_k) + \delta 1_{jk} - \delta 2_{jk}),$$

35 en la que n es el número de consumidores eléctricos, j es un índice de salida que varía de 1 a m, siendo m el número de salidas, i es un índice de consumidor eléctrico que varía de 1 a n, k es un índice de juego de datos del primer conjunto que varía de 1 a w, siendo w el número de juegos de datos del primer conjunto, t_k es el intervalo temporal asociado al juego de datos de índice k, a_{ij} es el parámetro de conexión que indica si el consumidor de índice i está conectado a la salida de índice j, E_{Ci}(t_k) es la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico de índice i durante el intervalo temporal t_k,

40 E_{Dj}(t_k) es la energía eléctrica suministrada por la salida de índice j durante el intervalo temporal t_k, y δ1_{jk} y δ2_{jk} son unas variables de ajuste representativas de las pérdidas eléctricas;

- el sistema de ecuaciones se escribe en una forma matricial de la manera siguiente:

$$A^*z = B,$$

$$z = \begin{bmatrix} a_{11} \\ \vdots \\ a_{n1} \\ \vdots \\ a_{1m} \\ \vdots \\ a_{nm} \\ \partial 1_{11} \\ \vdots \\ \partial 1_{mw} \\ \partial 2_{11} \\ \vdots \\ \partial 2_{mw} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} E_{D1}(t_1) \\ \vdots \\ E_{D1}(t_w) \\ E_{D2}(t_1) \\ \vdots \\ E_{D2}(t_w) \\ E_{Dm}(t_1) \\ \vdots \\ E_{Dm}(t_k) \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} U & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & U \end{bmatrix}$$

en el que

y

comprendiendo

$$U = \begin{bmatrix} E_{C1}(t_1) & \dots & E_{Cn}(t_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{C1}(t_w) & \dots & E_{Cn}(t_w) \end{bmatrix}$$

y A m*n columnas y m*w líneas;

- durante la etapa de determinación, se utiliza un algoritmo de optimización para resolver el sistema de ecuaciones, verificando el algoritmo de optimización:

5

$$\min_z f^T \cdot z \quad \text{tal que} \quad \begin{cases} A \cdot z = B \\ l_z \leq z \leq u_z \end{cases},$$

en la que

$$f^T \cdot z = \underbrace{[0 \quad \dots \quad 0]}_{m \cdot n} \underbrace{[1 \quad \dots \quad 1]}_{w \cdot m} \underbrace{[1 \quad \dots \quad 1]}_{w \cdot m} \times z,$$

$$l_z = \begin{bmatrix} -\varepsilon \\ \vdots \\ -\varepsilon \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad u_z = \begin{bmatrix} 1 + \varepsilon \\ \vdots \\ 1 + \varepsilon \\ +\infty \\ \vdots \\ +\infty \end{bmatrix},$$

ε está comprendido entre 0 y 0,5;

- 10 - cada salida comprende uno o varios conductores eléctricos de fase, y, durante la etapa de adquisición b), se adquieren los segundos datos para cada conductor eléctrico de fase y son relativos a la energía eléctrica suministrada por cada conductor eléctrico de fase, y, durante la etapa de determinación f), los parámetros de conexión determinados incluyen para cada consumidor eléctrico un identificador del o de los conductores eléctricos de fase a los que está conectado;
- 15 - durante la etapa de determinación f), el procedimiento comprende las etapas siguientes:
 - f1) la selección pseudoaleatoria del tercer conjunto de juegos de datos incluidos en el primer conjunto,
 - f2) la determinación de los parámetros de conexión a partir del tercer conjunto seleccionado entre el primer conjunto;

- a continuación de la etapa f1) de selección y anteriormente a la etapa de determinación f2), el procedimiento comprende las etapas siguientes:

- f3) el cálculo de un parámetro de repetición,
- f4) la determinación, a partir del tercer conjunto seleccionado, de índices intermedios de conexión que incluyen para cada consumidor eléctrico un identificador de la salida a la que está conectado,
- f5) la memorización de los índices intermedios de conexión, y
- f6) la comparación del parámetro de repetición con al menos un criterio de repetición predeterminado,

y, según el resultado de la etapa de comparación f6), la realización de una etapa entre, por una parte, la repetición de las etapas de selección f1), de cálculo f3), de determinación f4), de memorización f5) y de comparación f6) y, por otra parte, la etapa de determinación f2) de los parámetros de conexión en función de los índices intermedios de conexión memorizados;

- el procedimiento comprende la etapa siguiente:
 - f7) el cálculo, para cada consumidor y para cada salida, de un número de asignación relativo al número de veces en los que los índices intermedios de conexión memorizados indican que el consumidor está conectado a la salida,

y, durante la etapa de determinación f2), se determinan los parámetros de conexión a partir de los números de asignación calculados.

La invención tiene igualmente por objeto un programa de ordenador que incluye unas instrucciones de software, que cuando se ejecutan por un ordenador implementan el procedimiento definido anteriormente.

La invención tiene, además, por objeto un sistema de determinación de la estructura de una red de distribución de electricidad, comprendiendo la red de distribución una estación de alimentación que incluye una o varias salidas de alimentación de energía eléctrica a varios consumidores eléctricos, comprendiendo el sistema:

- para cada consumidor eléctrico, un primer sensor de medida de primeros datos relativos a la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico durante diferentes intervalos temporales,
- para cada salida, un segundo sensor de medida de segundos datos relativos a la energía eléctrica suministrada por la salida durante los diferentes intervalos temporales,
- un módulo de adquisición de los primeros y segundos datos,
- un módulo de generación de varios juegos de datos diferentes, asociados cada uno a uno de los intervalos temporales, comprendiendo cada juego de datos los primeros y segundos datos asociados a dicho intervalo temporal,

caracterizado porque el sistema de determinación comprende además:

- un módulo de cálculo de un primer criterio de selección para cada juego de datos, siendo el primer criterio de selección un criterio elegido entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas y los consumidores y una diferencia en el consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores,
- un módulo de selección, en función de los primeros criterios de selección calculados, de un primer conjunto de juegos de datos entre los juegos generados, y
- un módulo de determinación, a partir del primer conjunto seleccionado, de parámetros de conexión, incluyendo dichos parámetros para cada consumidor eléctrico un identificador de la salida a la que está conectado.

La invención se entenderá mejor y surgirán más claramente otras ventajas de la misma a la luz de la siguiente descripción, dada únicamente a modo de ejemplo no limitativo y realizada con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 es una representación esquemática de una red de distribución de electricidad que comprende una estación de alimentación que incluye varias salidas de alimentación de energía eléctrica a varios consumidores eléctricos;
- la figura 2 es un organigrama de un procedimiento de determinación de la estructura de la red de distribución de electricidad de la figura 1, según un primer modo de realización de la invención;
- la figura 3 es un organigrama análogo al de la figura 2, según un segundo modo de realización de la de la invención;
- la figura 4 es un organigrama análogo al de la figura 2, según un tercer modo de realización de la invención; y
- la figura 5 es un organigrama análogo al de la figura 2, según un cuarto modo de realización de la de la invención.

En la figura 1, se asocia una red 10 de distribución de electricidad a un sistema 12 de determinación de la estructura de la red 10 de distribución de electricidad. La red 10 de distribución comprende una estación 14 de alimentación de energía eléctrica a varios consumidores 16_i eléctricos. La estación 14 de alimentación incluye unas salidas 18_j eléctricas de alimentación de energía eléctrica a unos consumidores 16_i eléctricos, siendo i un índice de consumidor eléctrico y j un índice de la salida.

El índice i del consumidor eléctrico varía de 1 a n , en el que n es el número de consumidores eléctricos 16_i y el índice de salida j varía de 1 a m , en el que m es el número de salidas eléctricas 18_j . En el ejemplo de la figura 1, el número n de consumidores eléctricos 16_i es igual a 3, y el número m de salidas eléctricas 18_j es igual a 2.

5 El sistema 12 de determinación, comprende, para cada consumidor eléctrico 16_j , un primer sensor 20_j de medida de energía y un módulo 21_j de transmisión de las medidas de energía realizadas por el primer sensor 20_j correspondiente.

El sistema de determinación 12 incluye, para cada salida 18_j , un segundo sensor 22_j de medida de energía.

El sistema 12 de determinación comprende igualmente una unidad 24 de tratamiento de informaciones formada por ejemplo por un procesador 26 y una memoria 28 asociada al procesador 26.

10 La estación 14 de alimentación es, por ejemplo, una estación de transformación de media tensión/baja tensión conectada entre una red de media tensión, no representada, y una red 30 de baja tensión que corresponde a los consumidores eléctricos 16_j .

La estación de alimentación 14 incluye, en cada salida 18_j , el segundo sensor 22_j correspondiente.

15 Los consumidores eléctricos 16_j se conectan a la estación 14 de alimentación a través de las salidas 18_j . Más concretamente, en el ejemplo de la figura 1, los consumidores eléctricos 16_1 , 16_2 se conectan a la salida 18_1 y el consumidor eléctrico 16_3 se conecta a la salida 18_2 .

20 Los consumidores eléctricos 16_j son o bien trifásicos y alimentados por la salida 18_j correspondiente a través de cuatro conductores eléctricos 32_j , 34_j , 36_j , 38_j , es decir tres conductores eléctricos de fase 32_j , 34_j , 36_j y un conductor eléctrico de neutro 38_j , o bien monofásicos y alimentados por la salida 18_j correspondiente a través de dos conductores eléctricos: es decir, por ejemplo conductor de fase 32_j , 34_j o 36_j y el conductor de neutro 38_j .

En el ejemplo de la figura 1, el consumidor eléctrico 16_1 es trifásico y los consumidores eléctricos 16_2 , 16_3 son monofásicos.

Cada consumidor eléctrico 16_i incluye uno de los primeros sensores 20_i correspondiente y uno de los módulos de transmisión 21_i correspondiente.

25 Cada consumidor eléctrico 16_i es, por ejemplo, un contador de consumo eléctrico con capacidad de comunicación, apropiado para medir unos primeros datos E_{Ci} relativos a la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico 16_i , a través del primer sensor 20_i correspondiente, y para transmitir los primeros datos E_{Ci} a la unidad 24 de procesamiento a través del módulo de transmisión 21_i correspondiente.

30 Cada salida 18_j es una salida trifásica y comprende los tres conductores de fase 32_j , 34_j , 36_j correspondientes el conductor de neutro 38_j correspondiente. Como variante, no representada, las salidas eléctricas son monofásicas y comprenden un conductor de fase y un conductor de neutro. Según otra variante más, no representada, ciertas salidas son monofásicas y otras son trifásicas.

Cada primer sensor 20_j es apropiado para medir unos primeros datos $E_{Ci}(t_k)$ relativos a la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico 16_i correspondiente, durante diferentes intervalos temporales t_i .

35 De manera más general, los primeros sensores 20_i se configuran para medir los primeros datos $E_{Ci}(t_i)$ durante los mismos intervalos temporales t_i , siendo medidos los primeros datos $E_{Ci}(t_i)$ medidos en cada consumidor eléctrico 16_i de manera síncrona.

Cada módulo de transmisión 21_i es apropiado para transmitir los primeros datos $E_{Ci}(t_i)$ medidos por el primer sensor 20_i correspondiente con destino en la unidad de procesamiento 24.

40 Ventajosamente, cada módulo de transmisión 21_i es apropiado para transmitir con los primeros datos $E_{Ci}(t_i)$ una primera información relativa al intervalo temporal durante el que se han medido los primeros datos.

Cada segundo sensor 22_j es apropiado para medir unos segundos datos $E_{Dj}(t_i)$ relativos a la energía eléctrica suministrada por la salida 18_j correspondiente durante los diferentes intervalos temporales t_i .

45 Los primeros $E_{Ci}(t_i)$ y segundos $E_{Dj}(t_i)$ datos medidos se sincronizan entonces en el sentido de que se miden durante unos intervalos temporales t_i idénticos.

Cada segundo sensor 22_j se configura igualmente para transmitir, a través de una conexión eléctrica respectiva 40_j , los segundos datos $E_{Dj}(t_i)$ que mide a la unidad de procesamiento 24.

Ventajosamente, cada segundo sensor 22_j se configura para transmitir con los segundos datos $E_{Dj}(t_i)$ una segunda información relativa al intervalo temporal t_i durante el que se han medido los segundos datos $E_{Dj}(t_i)$.

50 Los primeros $E_{Ci}(t_i)$ y segundos $E_{Dj}(t_i)$ datos son, por ejemplo, unas medidas de energía activa.

Más concretamente, en lo que sigue de la descripción, se considera que los primeros $E_{Ci}(t_i)$ y segundos $E_{Dj}(t_i)$ datos son unas medidas de energía activa.

5 Como variante, los primeros $E_{Ci}(t_i)$ y segundos $E_{Dj}(t_i)$ datos son unas medidas de energía reactiva, unas medidas de energía aparente, unas medidas de potencia activa, unas medidas de potencia reactiva, unas medidas de potencia aparente o incluso unas medidas de intensidad.

El procesador 26 se configura para ejecutar un software incluido en la memoria 28.

10 La memoria 28 comprende un software 41 de adquisición de los primeros $E_{Ci}(t_i)$ y segundos $E_{Dj}(t_i)$ datos, un software 42 de generación de varios de juegos de datos diferentes J_{ei} a partir de los primeros datos $E_{Ci}(t_i)$ y de los segundos datos $E_{Dj}(t_i)$ adquiridos en un mismo intervalo temporal t_i y un software 44 de cálculo de un primer criterio de selección $C1_i$ para cada juego de datos J_{ei} .

La memoria 28 comprende igualmente un software 46 de selección de un primer conjunto En_1 de juegos de datos J_{ei} , en función de los primeros criterios de selección $C1_i$ calculados por el software 44 de cálculo y un software 48 de determinación de parámetros de conexión a_{ij} , incluyendo dichos parámetros de conexión para cada consumidor eléctrico 16_i un identificador de la salida 18_j a la que está conectado.

15 El software de adquisición 41, de generación 42, de cálculo 44, de selección 46 y de determinación 48 corresponden a unas instrucciones de software y forman un programa de ordenador adecuado para ser ejecutado por un ordenador. El ordenador corresponde, por ejemplo, a la unidad de procesamiento 24.

20 El software de adquisición 41 es adecuado para transmitir, por ejemplo, a cada consumidor eléctrico 16_i y particularmente a cada primer sensor 20_i un orden de medida de los primeros datos $E_{Ci}(t_i)$ y un orden de transmisión de los primeros datos $E_{Ci}(t_i)$, con el fin de recuperar los primeros datos.

Asimismo, el software 41 de adquisición se configura, por ejemplo, para transmitir a cada salida 18_j y particularmente a cada segundo sensor 22_j un orden de medida de los segundos datos $E_{Dj}(t_i)$ y un orden de transmisión de los segundos datos $E_{Dj}(t_i)$, con el fin de recuperar los segundos datos $E_{Dj}(t_i)$.

25 Ventajosamente los órdenes de medida de los primeros $E_{Ci}(t_i)$ y segundos $E_{Dj}(t_i)$ datos se transmiten simultáneamente a todas las salidas 18_j y a todos los consumidores 16_i .

El software de generación 42 se configura para generar los juegos de datos J_{ei} que se asocian cada uno a uno de los intervalos temporales t_i y que comprenden los primeros $E_{Ci}(t_i)$ y segundos $E_{Dj}(t_i)$ datos asociados a dicho intervalo temporal t_i . En otras palabras, el software de generación 42 selecciona los primeros $E_{Ci}(t_i)$ y segundos $E_{Dj}(t_i)$ datos medidos durante los diferentes intervalos temporales t_i , para crear los juegos de datos J_{ei} .

30 El software de cálculo 44 está adaptado para calcular, para cada juego de datos J_{ei} , el primer criterio de selección $C1_i$, que se elige entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre las salidas 18_j y los consumidores eléctricos 16_i y una diferencia de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores 16_i . Las pérdidas de energía eléctrica, incluyen tanto las pérdidas denominadas técnicas, por ejemplo vinculadas a las pérdidas Joule durante la circulación de la corriente entre las salidas 18_j y los consumidores 16_i , como las pérdidas denominadas no técnicas, que están vinculadas por ejemplo al robo de electricidad, debido a unos consumidores que se conectan a la red 10 de distribución sin que la unidad 24 de procesamiento de información esté informada y a unos primeros sensores 20_j defectuosos.

Si el primer criterio de selección $C1_i$ es, por ejemplo, la tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre las salidas 18_j y los consumidores 16_i , el primer criterio de selección $C1_i$ se calcula partir de la fórmula siguiente:

$$C1_l = \frac{\Delta E}{E}(t_l) = \frac{\sum_{j=1}^m E_{Dj}(t_l) - \sum_{i=1}^n E_{Ci}(t_l)}{\sum_{j=1}^m E_{Dj}(t_l)}, \quad (1)$$

40 en la que l es un índice del juego de datos y varía desde 1 a r , siendo r el número de juegos de datos generados por el software de generación 42, t_l es el intervalo temporal asociado al juego de datos de índice l , $E_{Ci}(t_i)$ es la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico de índice i durante el intervalo temporal t_i y $E_{Dj}(t_i)$ es la energía eléctrica suministrada por la salida de índice j durante el intervalo temporal t_i .

45 Si el primer criterio de selección $C1_i$ es, por ejemplo, la diferencia de consumo de energía entre los diferentes consumidores 16_i , el primer criterio de selección $C1_i$ se calcula partir de la fórmula siguiente:

$$C1_l = Var(E_{C1}(tk), \dots, E_{Cn}(tk)), \quad (2)$$

en la que Var es la función varianza.

Como variante, si el primer criterio de selección $C1_i$ es, por ejemplo, la diferencia relativa de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores, el primer criterio de selección $C1_i$ se calcula partir de la fórmula siguiente:

$$C1_i = \frac{Var(E_{C1}(tk), \dots, E_{Cn}(tk))}{Med(E_{C1}(tk), \dots, E_{Cn}(tk))}, \quad (3)$$

en la que Med es una función media, tal como una media aritmética, geométrica, cuadrática...

El software 46 de selección se configura para seleccionar el primer conjunto En_1 de juegos de datos entre los juegos de datos Je_i generados por el software de generación 42, en función de los primeros criterios de selección $C1_i$ calculados. El software 46 de selección se configura, por ejemplo, para comparar los primeros criterios $C1_i$ con una primera variable predeterminada $V1$ y para seleccionar los juegos de datos Je_i para los que el primer criterio $C1_i$ es inferior a la primera variable predeterminada $V1$.

El software 48 de determinación se configura para determinar los parámetros de conexión a_{ij} a partir del primer conjunto En_1 seleccionado.

El software 48 de determinación se configura, por ejemplo, para establecer o determinar un sistema de ecuaciones a resolver a partir de un postulado de conservación de la energía eléctrica para cada salida 18_j , según el que la energía suministrada por la salida 18_j es sustancialmente igual a la suma de la energía consumida por los consumidores eléctricos 16_i conectados a la salida 18_j y a las pérdidas eléctricas.

El sistema de ecuaciones se define, por ejemplo, a partir de la ecuación siguiente:

$$E_{Dj}(t_k) = \sum_{i=1}^n (a_{ij} \cdot E_{Ci}(t_k) + \delta 1_{jk} - \delta 2_{jk}) \quad (4)$$

en la que n es el número de consumidores eléctricos, j es un índice de salida que varía de 1 a m, siendo m el número de salidas, i es un índice de consumidor eléctrico que varía de 1 a n, k es un índice de juego de datos Je_k del primer conjunto En_1 que varía de 1 a w, siendo w el número de juegos de datos Je_k del primer conjunto En_1 , t_k es el intervalo temporal asociado al juego de datos Je_k de índice k, a_{ij} es el parámetro de conexión que indica si el consumidor de índice i está conectado a la salida de índice j, $E_{Ci}(t_k)$ es la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico de índice i durante el intervalo temporal t_k , $E_{Dj}(t_k)$ es la energía eléctrica suministrada por la salida de índice j durante el intervalo temporal t_k , y $\delta 1_{jk}$ y $\delta 2_{jk}$ son unas variables de ajuste representativas de las pérdidas eléctricas, es decir de la diferencia para cada juego de datos Je_k y para cada salida 18_j entre la energía eléctrica suministrada por la salida 18_j y la energía eléctrica consumida por los consumidores eléctricos 16_i conectados a la salida de índice j.

El sistema de ecuaciones se escribe entonces por ejemplo bajo una forma matricial de la manera siguiente:

$$A^*z = B, \quad (5)$$

$$z = \begin{bmatrix} a_{11} \\ \vdots \\ a_{n1} \\ \vdots \\ a_{1m} \\ \vdots \\ a_{nm} \\ \partial 1_{11} \\ \vdots \\ \partial 1_{mw} \\ \partial 2_{11} \\ \vdots \\ \partial 2_{mw} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} E_{D1}(t_1) \\ \vdots \\ E_{D1}(t_w) \\ E_{D2}(t_1) \\ \vdots \\ E_{D2}(t_w) \\ \vdots \\ E_{Dm}(t_1) \\ \vdots \\ E_{Dm}(t_k) \end{bmatrix}$$

en la que

$$A = [D \quad I_{w^*m} \quad -I_{w^*m}], \quad I_{w^*m}$$

representan la matriz unidad de tamaño

$$D = \begin{bmatrix} U & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & U \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} E_{C1}(t_1) & \dots & E_{Cn}(t_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{C1}(t_w) & \dots & E_{Cn}(t_w) \end{bmatrix}$$

w^*m , comprendiendo líneas.

y D m^*n columnas y m^*w

5 El software de determinación 48 se configura entonces para resolver el sistema de ecuaciones a partir de un algoritmo de optimización que verifica:

$$\min_z f^T \cdot z \quad \text{tel que} \quad \begin{cases} A \cdot z = B \\ l_z \leq z \leq u_z \end{cases}, \quad (6)$$

$$f^T \cdot z = \underbrace{[0 \quad \dots \quad 0]}_{m^*n} \quad \underbrace{[1 \quad \dots \quad 1]}_{w^*m} \quad \underbrace{[1 \quad \dots \quad 1]}_{w^*m} \times z,$$

en la que

f^T corresponde a una función de coste del algoritmo de optimización y z a un vector objetivo definido en el presente documento anteriormente y en el que, siendo

$$l_z = \begin{bmatrix} -\varepsilon \\ \vdots \\ -\varepsilon \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix},$$

l_z de dimensión $m^*n+2^*w^*m$ y comprendiendo m^*n veces el valor $-\varepsilon$ y 2^*w^*m veces el valor 0 y siendo

$$u_z = \begin{bmatrix} 1+\varepsilon \\ \vdots \\ 1+\varepsilon \\ +\infty \\ \vdots \\ +\infty \end{bmatrix},$$

u_z de dimensión $m^*n+2^*w^*m$ y comprendiendo m^*n veces el valor $(1+\varepsilon)$ y 2^*w^*m veces el valor $+\infty$,

estando ϵ comprendido entre 0 y 0,5, preferentemente comprendido entre 0 y 0,1, también preferentemente igual a 0,05.

El algoritmo de optimización es apropiado para determinar el vector objetivo z y por tanto los parámetros de conexión para los que se minimiza la función $f^T \cdot z$. Más concretamente, el software 48 de determinación se configura

$$X = \begin{bmatrix} a_{11} \\ \vdots \\ a_{nm} \end{bmatrix}$$

5 para comenzar a partir de un vector de solución inicial elegido aleatoriamente y para converger de manera iterativa hacia una solución. En cada iteración, se calculan las variables de ajuste $\delta 1_{jk}$, $\delta 2_{jk}$ y la función $f^T \cdot z$ y permiten decidir el próximo vector solución X .

10 Más concretamente, en cada iteración, el algoritmo de optimización equilibra las diferencias de energía con las variables de ajuste $\delta 1_{jk}$, $\delta 2_{jk}$ de manera que se verifiquen las igualdades del sistema de ecuaciones. De este modo, si la energía suministrada en una salida de índice j es excedentaria, se aumenta la variable de ajuste $\delta 1_{jk}$ correspondiente y si esta energía es deficitaria, se aumenta la variable $\delta 2_{jk}$ correspondiente. De este modo, cuanto más respetan los parámetros de conexión a_{ij} el principio de conservación de la energía, más reducidas son las variables de ajuste. El objetivo es minimizar las variables de ajuste, lo que se traduce por la función objetivo

$$f^T \cdot z = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^w (\delta 1_{jk} + \delta 2_{jk}).$$

15 Las matrices l_z y u_z acotan los parámetros de conexión a_{ij} entre $-\epsilon$ y $1+\epsilon$ y las variables de ajuste $\delta 1_{jk}$ y $\delta 2_{jk}$ entre 0 y $+\infty$. Más concretamente, durante la aplicación del algoritmo de optimización, los parámetros de conexión a_{ij} son unos números reales lo que permite relajar las restricciones. Posteriormente, a continuación de la aplicación del algoritmo de optimización, el software 48 de determinación se configura para fijar los valores de los parámetros de conexión a_{ij} a 0 o a 1 en función de su valor a continuación de la aplicación del algoritmo de optimización. El valor 0 indica una
20 no conexión del consumidor de índice i a la salida de índice j , mientras que el valor 1 indica una conexión del consumidor de índice i a la salida de índice j .

El software 48 de determinación se configura, por ejemplo, para determinar los valores de los parámetros de conexión a continuación de la aplicación del algoritmo de optimización a través de la ecuación siguiente:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } a_{ij} = \max_j(a_{ij}) \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \quad (7)$$

25 De este modo, siguiendo la ecuación (7) anterior, cada consumidor 16_i se conecta a una única salida 18_j .

Además, la unidad 24 de procesamiento se configura para identificar, en función de los parámetros de conexión determinados y a partir, por ejemplo, de un software de identificación, no representado, incluido en la memoria 28, unos subconjuntos de consumidores, correspondiendo cada subconjunto de consumidores al conjunto de consumidores 16_i conectados a una misma salida 18_j .

30 Como variante, el software 48 de determinación se configura para determinar los parámetros de conexión por separado para cada salida e independientemente de los segundos datos relativos a la energía eléctrica adquiridos para las otras salidas.

35 Según esta variante, se determina un sistema de ecuaciones óptimo para cada salida y el algoritmo de optimización se aplica a cada sistema de ecuaciones óptimo. Se obtienen así m sistemas de ecuaciones óptimos resueltos independientemente a través del algoritmo de optimización.

De este modo, para la salida de índice 1, el sistema de ecuaciones óptimo correspondiente verifica:

$$A1^*z1 = B1, \quad (8)$$

$$z1 = \begin{bmatrix} a_{11} \\ \vdots \\ a_{n1} \\ \partial 1_{11} \\ \vdots \\ \partial 1_{1w} \\ \partial 2_{11} \\ \vdots \\ \partial 2_{1w} \end{bmatrix}, \quad B1 = \begin{bmatrix} E_{D1}(t_1) \\ \vdots \\ E_{D1}(t_w) \end{bmatrix}$$

en la que $A1 = [U I_w - I_w]$, siendo $U = \begin{bmatrix} E_{C1}(t_1) & \cdots & E_{Cn}(t_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{C1}(t_w) & \cdots & E_{Cn}(t_w) \end{bmatrix}$.

Posteriormente, según esta variante, el software 48 de determinación es apropiado, por ejemplo, para determinar los valores de los parámetros de conexión a través de la ecuación (7).

5 Según otra variante, el software 48 de determinación se configura para determinar los parámetros de conexión para cada conductor eléctrico de fase 32_j, 34_j, 36_j y no simplemente para cada salida 18_j. Según esta otra variante, el sistema de ecuaciones comprende entonces tantas ecuaciones como conductores eléctricos de fase 32_j, 34_j, 36_j y las variables descritas anteriormente y relativas a la salida específica j son entonces relativas a un conductor de fase específico. De este modo, los segundos sensores 22_j miden la energía eléctrica suministrada por cada conductor de fase 32_j, 34_j, 36_j y no cada salida 18_j, los parámetros de conexión a_{ij} se determinan para cada conductor de fase 32_j, 34_j, 36_j y las variables de ajuste se determinan para cada conductor de fase 32_j, 34_j, 36_j. Según esta otra variante, se identifica por ejemplo cada conductor eléctrico mediante un índice y la variable j, presentada en las ecuaciones anteriores, corresponde entonces a un índice de conductor eléctrico de fase y que varía de 1 a u, siendo u el número de conductores eléctricos de fase que es igual a 3*m, es decir 6 en el ejemplo de la figura 1.

15 Se presentarán en adelante varios modos de realización de un procedimiento de determinación de la estructura de la red 10 de distribución eléctrica, implementados a través de la unidad 24 de procesamiento, y más globalmente a través del sistema 12 de determinación.

20 Según un primer modo de realización descrito a continuación con referencia a la figura 2, el procedimiento comprende una etapa 100 inicial de adquisición de datos principales de la red 10 de distribución. Los datos principales comprenden, por ejemplo, el número total n de consumidores 16_i, el número total m de salidas 18_j, los primeros datos E_{Ci}(t_i) medidos, los segundos datos E_{Dj}(t_i) medidos y los diferentes intervalos temporales t_i asociados a los primeros y segundos datos medidos. En efecto, durante la etapa 100 inicial, el software 41 de adquisición controla, por ejemplo, la medición, por cada primer 20_i y cada segundo 22_j sensores, de unos primeros E_{Ci}(t_i) y segundos E_{Dj}(t_i) datos durante los intervalos temporales t_i y la transmisión de los primeros E_{Ci}(t_i) y segundos E_{Dj}(t_i) datos que se asocian entonces al intervalo temporal t_i durante el que han sido medidos, a través de, por ejemplo, las primeras y segundas informaciones.

25 A continuación, durante una etapa 102 de generación, el software 42 de generación genera varios juegos de datos J_{ei} diferentes, asociados cada uno a uno de los intervalos temporales t_i y que comprenden los primeros E_{Ci}(t_i) y segundos E_{Dj}(t_i) datos asociados a dicho intervalo temporal t_i.

30 Posteriormente, durante una etapa 104 de cálculo, el software 44 de cálculo calcula el primer criterio de selección C1_i para cada juego de datos J_{ei}. El primer criterio de selección C1_i, es por ejemplo la tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre las salidas 18_j y los consumidores 16_i.

35 A continuación, en el transcurso de una etapa 106 de selección, el software 46 de selección selecciona el primer conjunto E_{n1} en función de los primeros criterios de selección C1_i calculados. El primer conjunto E_{n1} se selecciona entre los juegos de datos generados en la etapa 102. en el transcurso de la etapa 106 de selección, el software 46 de selección compara, por ejemplo, los primeros criterios C1_i con la primera variable V1 predeterminada, siendo el valor de la primera variable V1 predeterminada por ejemplo definido durante la etapa 100 de adquisición. El software 46 de selección selecciona entonces los juegos de datos J_{ei} para los que el primer criterio C1_i es inferior a la primera variable V1 predeterminada.

40 Para terminar, en el transcurso de una etapa 108 de determinación, se determinan los parámetros de conexión a través del software 48 de determinación y a partir del primer conjunto E_{n1} seleccionado.

Más concretamente, el software 48 de determinación determina el sistema de ecuaciones a resolver a partir, por ejemplo, de la ecuación (4), como se ha presentado anteriormente. Posteriormente, como se ha presentado anteriormente durante la descripción del sistema 12 de determinación y de la ecuación (5), el algoritmo de optimización se aplica al sistema de ecuaciones con el fin de determinar los parámetros de conexión a_{ij}.

- 5 Como variante, durante la etapa de determinación, el software 48 de determinación determina los sistemas de ecuaciones óptimos, tal como se ha presentado anteriormente a través de la ecuación (8), y aplica el algoritmo de optimización a cada sistema de ecuaciones óptimo. Se mejora entonces velocidad de determinación de los parámetros de conexión a_{ij} , puesto que los sistemas de ecuaciones óptimos comprenden un número limitado de ecuaciones.
- En el primer modo de realización, el hecho de realizar una selección de los juegos de datos Je_k permite eliminar los juegos de datos Je_l para los que las pérdidas son las mayores, arriesgando estos juegos de datos con conducir a una determinación errónea de los parámetros de conexión a_{ij} .
- 10 De este modo, según el primer modo de realización, los parámetros de conexión determinados a_{ij} , se determina de manera más certera con relación a los métodos conocidos del estado de la técnica y se mejora la fiabilidad del procedimiento de determinación.
- Además, el algoritmo de optimización utilizado permite utilizar un número indiferente de juegos de datos Je_k durante la etapa 108 de determinación, incluso si es preferible que el número de juegos de datos del primer conjunto sea superior o igual al número total n de consumidores 16_i .
- 15 Según un segundo modo de realización de la invención descrito a continuación con referencia a la figura 3, el procedimiento comprende las etapas 200, 202, 204, 206, 208 idénticas respectivamente a las etapas 100, 102, 104, 106, 108 del primer modo de realización y, durante la etapa 204, se calcula un segundo criterio de selección $C2_i$ para cada juego de datos generado. El segundo criterio de selección $C2_i$ es diferente del primer criterio $C1_i$ y se elige entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas y los consumidores y una diferencia de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores.
- 20 De este modo, durante la etapa 204, cada primer criterio $C1_i$ es, por ejemplo, la tasa global de pérdidas relativas al juego de datos Je_l correspondiente y cada segundo criterio $C2_i$ es la diferencia de consumo de energía eléctrica relativa al juego de datos Je_l correspondiente, y se calcula a través de la ecuación (2) o la ecuación (3).
- 25 Posteriormente, en el transcurso de la etapa 206 de selección, el software 46 de selección selecciona el primer conjunto En_1 en función de los primeros criterios de selección $C1_i$ y de los segundos criterios de selección $C2_i$ calculados. El primer conjunto En_1 se selecciona entre los juegos de datos generados en la etapa 202. En el transcurso de la etapa 206 de selección, el software 46 de selección compara, por ejemplo, los primeros criterios $C1_i$ con la primera variable $V1$ y los segundos criterios $C2_i$ con una segunda variable $V2$ predeterminada. El valor de la segunda variable $V2$ predeterminada se define, por ejemplo, durante la etapa 200 de adquisición. El software 46 de selección selecciona entonces los juegos de datos para los que el primer criterio $C1_i$ es inferior a la primera variable $V1$ predeterminada y el segundo criterio $C2_i$ es inferior a la segunda variable $V2$ predeterminada.
- 30 Para terminar, en el transcurso de la etapa 208 de determinación se determinan los parámetros de conexión a través del software 48 de determinación y a partir del primer conjunto En_1 seleccionado.
- 35 El segundo modo de realización permite afinar la selección de los juegos de datos con relación al primer modo de realización y de ese modo seleccionar unos juegos de datos a partir de los que se minimiza el riesgo de error en la determinación de los parámetros a_{ij} de conexión. Se mejoran así la exactitud, la velocidad y la fiabilidad del procedimiento de determinación.
- 40 Según un tercer modo de realización de la invención descrito a continuación con referencia a la figura 4, el procedimiento comprende las etapas 300, 302, 304, 306, 310 idénticas respectivamente a las etapas 100, 102, 104, 106, 108 del primer modo de realización y, a continuación de la etapa 306 y anteriormente a la etapa 310, el procedimiento comprende una etapa 307 de cálculo de un segundo criterio de selección $C2_k$ para cada juego de datos del primer conjunto En_1 , siendo el segundo criterio $C2_k$ diferente del primer criterio y siendo elegido entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas 18_j y los consumidores 16_i y una diferencia de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores 16_i .
- 45 En el tercer modo de realización, cada primer criterio $C1_i$ es, por ejemplo, la tasa global de pérdidas relativas al juego de datos correspondiente generado en la etapa 302 y cada segundo criterio $C2_k$ es la diferencia de consumo de energía eléctrica relativa al juego de datos correspondiente del primer conjunto En_1 .
- A continuación de la etapa 307 de cálculo, durante una etapa 308 de selección, se selecciona un segundo conjunto En_2 de juegos de datos entre el primer conjunto En_1 . Posteriormente, se establece el primer conjunto En_1 , por ejemplo, igual al segundo conjunto En_2 seleccionado para realizar la etapa 310 de determinación en función del segundo conjunto En_2 seleccionado.
- 50 El tercer modo de realización permite afinar la selección de los juegos de datos con relación al primer modo de realización, y de ese modo seleccionar unos juegos de datos a partir de los que se minimiza el riesgo de error en la determinación de los parámetros a_{ij} de conexión. Se mejoran así la exactitud, la velocidad y la fiabilidad del procedimiento de determinación.
- 55

Según un cuarto modo de realización de la invención descrito a continuación con referencia a la figura 5, el procedimiento comprende las etapas 400, 402, 404, 406 idénticas a las etapas 100, 102, 104, 106 del primer modo de realización.

5 Posteriormente, a continuación de la etapa 406 de selección, el procedimiento comprende una etapa 408 de determinación de los parámetros de conexión. Más concretamente, durante la etapa 408, el procedimiento comprende una primera subetapa 408A de selección pseudoaleatoria del tercer conjunto En_3 de juegos de datos incluido en el primer conjunto En_1 .

A continuación, durante una subetapa 408B de cálculo, se calcula un parámetro R1 de repetición. El parámetro R1 de repetición corresponde a un número de iteraciones de la subetapa 408A de selección.

10 Posteriormente, en el transcurso de una subetapa 408C de determinación, se determinan unos índices intermedios b_{ij} de conexión, que indican para cada consumidor 16_i la salida 18_j a la que está conectado, a partir del tercer conjunto En_3 seleccionado. De manera más general, los índices intermedios b_{ij} incluyen para cada consumidor eléctrico 16_i un identificador de la salida 18_j a la que está conectado. La subetapa 408C de determinación es análoga a la etapa 108 de determinación del primer modo de realización, pero se realiza a partir del tercer conjunto En_3 .

15 A continuación, durante una subetapa 408D de memorización, se memorizan los índices intermedios de conexión b_{ij} por la memoria 28.

20 Posteriormente, en el transcurso de una subetapa 408E de cálculo, realizada para cada consumidor 16_i y para cada salida 18_j , se calcula un número de asignación NA_{ij} relativo al número de veces en el que los índices intermedios de conexión memorizados indican que el consumidor 16_i está conectado a la salida 18_j .

$$NA_{ij} = \frac{N(b_{ij} = 1)}{N_T},$$

25 El número de asignación NA_{ij} se calcula por ejemplo a través de la fórmula siguiente: en la que $N(b_{ij} = 1)$ corresponde al número de veces que los índices intermedios b_{ij} memorizados son iguales a 1 para el consumidor 16_i de índice i y la salida 18_j de índice j y N_T corresponde a un número total de iteraciones de la subetapa 408A de selección. Ventajosamente, el número total de iteraciones N_T se inicializa a 0 anteriormente a la ejecución de la subetapa 408A de selección y se incrementa en 1 con cada ejecución de la subetapa de selección.

se ha de observar que el número de índices intermedios de conexión memorizados para un consumidor eléctrico 16_i dado y una salida 18_j dada es igual al número de iteraciones de la subetapa 408A de selección.

Ventajosamente, los números de asignación calculados se memorizan a continuación en la subetapa 408E de cálculo.

30 Posteriormente, durante una subetapa 408F de comparación, se compara el parámetro R1 de repetición con un criterio de repetición CR1 predeterminado. El criterio de repetición CR1 predeterminado se inicializa, por ejemplo, durante la etapa 400 de adquisición.

El criterio CR1 la repetición es, por ejemplo, un número mínimo de iteraciones de la subetapa 408A de selección.

35 Si durante la subetapa 408F de comparación, el parámetro de repetición es inferior al criterio de repetición, entonces se repiten las etapas 408A de selección, 408B de cálculo, 408C de determinación, 408D de memorización, 408E de cálculo y 408F de comparación.

Si durante la subetapa 408F de comparación, el parámetro R1 de repetición es superior al criterio CR1 de repetición, entonces se efectúa una subetapa 408G de determinación de los parámetros de conexión a_{ij} .

40 durante la subetapa 408G de determinación, se determinan los parámetros de conexión a_{ij} a partir del o de los terceros conjuntos seleccionados En_3 , y más precisamente en función de los índices intermedios de conexión b_{ij} memorizados durante la subetapa 408D de memorización, y más precisamente aún en función de los números de asignación NA_{ij} calculados en la última iteración de la subetapa 408E. Más concretamente, para cada consumidor eléctrico 16_i , se identifica el índice de salida j correspondiente al número mayor de asignación NA_{ij} , y se fija el parámetro de conexión a_{ij} correspondiente a dicho consumidor 16_i y a dicha salida 18_j igual a 1, fijándose los otros parámetros de conexión a_{ij} relativos a dicho consumidor iguales a 0.

Ventajosamente, si durante la subetapa 408G de determinación todos los números de asignación relativos al consumidor 16_i son inferiores a un primer umbral S1 predeterminado, por ejemplo igual a 0,6, entonces se identifica un error de identificación de la conexión para dicho consumidor 16_i .

50 Como variante, si el número de iteraciones de la subetapa 408A es superior a 2, entonces, durante la subetapa 408E de cálculo, y cada iteración de la subetapa 408E, se calcula una primera media de los números de asignación NA_{ij} , calculados con cada iteración de la subetapa 408E, para cada consumidor 16_i y para cada salida 18_j .

Posteriormente, se calcula una segunda media de los números de asignación NA_{ij} , calculados en la última iteración, para cada consumidor 16_i y para cada salida 18_j . A continuación, durante la subetapa 408E, se calcula una diferencia entre la primera media y la segunda media.

La primera y la segunda media son, por ejemplo, unas medias aritméticas, geométricas o cuadráticas.

5 Según esta variante, durante la subetapa 408F de comparación, se compara el valor absoluto de la última diferencia calculada con un segundo umbral $S2$ predeterminado, por ejemplo igual a 0,1. Posteriormente, si durante la subetapa 408F de comparación, el parámetro $R1$ de repetición es superior al criterio $CR1$ de repetición y el valor absoluto de la última diferencia calculada es inferior al segundo umbral $S2$, entonces se efectúa la subetapa 408G. Si no, se reiteran las etapas 408A, 408B, 408C, 408D, 408E y 408F.

10 El cuarto modo de realización permite, principalmente cuando el número de iteraciones de la subetapa 408A es superior a 2, determinar los parámetros de conexión a_{ij} a partir de terceros conjuntos En_3 de juegos de datos diferentes. De este modo, se mejoran la exactitud y la fiabilidad del procedimiento de determinación.

Además, el cuarto modo de realización permite ventajosamente identificar cada consumidor 16_i para el que la salida asociada 18_j está determinada con un buen índice de confianza y cada consumidor 16_i para el que la salida asociada 18_j está indeterminada o determinada con un mal índice de confianza. En efecto, como se ha presentado anteriormente, si durante la subetapa 408G de determinación todos los números de asignación relativos al consumidor 16_i son inferiores al primer umbral $S1$ predeterminado, por ejemplo igual a 0,6, entonces se identifica un error de identificación de la conexión para dicho consumidor 16_i y está indeterminada la salida 18_j a la que está conectado el consumidor 16_i . De la misma manera, si durante la subetapa 408G de determinación un número de asignación relativo a un consumidor 16_i es inferior a un tercer umbral $S3$ predeterminado, por ejemplo igual a 0,95, entonces la conexión del consumidor 16_i a la salida 18_j correspondiente se identifica con un buen índice de confianza.

Aún más ventajosamente, el cuarto modo de realización permite asociar, a cada parámetro de conexión a_{ij} , fijado igual a 1 durante la subetapa 408G de determinación, un índice de confianza que representa la probabilidad de que la conexión determinada sea correcta. El índice de confianza es por ejemplo igual al número de asignación NA_{ij} correspondiente.

Los modos de realizaciones y variantes concebidas anteriormente son apropiadas para combinarse entre sí, según todas las combinaciones técnicamente admisibles, para dar lugar a otros modos de realización de la invención.

De este modo, el segundo modo de realización es apropiado para combinarse con el cuarto modo de realización y el tercer modo de realización es igualmente apropiado para combinarse con el cuarto modo de realización.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de determinación de la estructura de una red (10) de distribución de electricidad, siendo implementado el procedimiento por ordenador (24), comprendiendo la red de distribución una estación (14) de alimentación que incluye una o varias salidas (18_j) de alimentación de energía eléctrica a varios consumidores eléctricos (16_i) y que comprende las etapas siguientes:
- a) la adquisición (100; 200; 300; 400), para cada consumidor eléctrico (16_i), de unos primeros datos (E_{ci}(t_i)) relativos a la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico (16_i) durante diferentes intervalos temporales (t_i), medidos a través de un primer sensor (20_i) de densidad de energía,
 - b) la adquisición (100; 200; 300; 400), para cada salida (18_j), de segundos datos (E_{Dj}(t_i)) relativos a la energía eléctrica suministrada por la salida (18_j) durante los diferentes intervalos temporales (t_i), medidos a través de un segundo sensor (20_j) de medida de energía,
 - c) la generación (102; 202; 302; 402), a través de un módulo de generación (42), de varios juegos de datos (J_{ei}) diferentes, asociados cada uno a uno de los intervalos temporales diferentes, comprendiendo cada juego de datos (J_{ei}) los primeros (E_{ci}(t_i)) y segundos (E_{Dj}(t_i)) datos asociados a dicho intervalo temporal (t_i),
- caracterizado porque** el procedimiento comprende además las etapas siguientes:
- d) el cálculo (104; 204; 304; 404) de un primer criterio (C1_i) para cada juego de datos, siendo el primer criterio de selección (C1_i) un criterio elegido entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas (18_j) y los consumidores (16_i) y una diferencia de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores (16_i),
 - e) la selección (106; 206; 306; 406), por una unidad (46) de selección y en función de los primeros criterios de selección (C1_i) calculados, de un primer conjunto (E_{n1}) de juegos de datos (J_{ek}) entre los juegos generados (J_{ei}),
 - f) la determinación (108; 208; 310; 408), a partir del primer conjunto (E_{n1}) seleccionado, de parámetros de conexión (a_{ij}), incluyendo dichos parámetros (a_{ij}) para cada consumidor eléctrico (16_i) un identificador de la salida (18_j) a la que está conectado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que, durante la etapa de cálculo d) (204), se calcula un segundo criterio de selección (C2_i) para cada juego (J_{ei}) de datos generado, siendo el segundo criterio (C2_i) un criterio elegido entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas (18_j) y los consumidores (16_i) y una diferencia de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores (16_i), y en el que, durante la etapa de selección e) (206), el primer conjunto (E_{n1}) se selecciona en función de los primeros (C1_i) y segundos (C2_i) criterios calculados.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que, a continuación de la etapa de selección e), el procedimiento comprende las etapas siguientes:
- e1) el cálculo (307) de un segundo criterio (C2_i) de selección para cada juego (J_{ek}) de datos del primer conjunto (E_{n1}), siendo el segundo criterio (C2_i) un criterio elegido entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas (18_j) y los consumidores (16_i) y una diferencia de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores (16_i),
 - e2) la selección (308) en función de los segundos criterios de selección (C2_i) calculados de un segundo conjunto (E_{n2}) de juegos de datos entre el primer conjunto (E_{n1}),
- efectuándose entonces la determinación de los parámetros de conexión (a_{ij}) durante la etapa de determinación f) (310) en función del segundo conjunto (E_{n2}) seleccionado entre el primer conjunto (E_{n1}).
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que, durante la etapa de determinación f) (108; 208; 310; 408), los parámetros de conexión (a_{ij}) se determinan por separado para cada salida (18_j) e independientemente de los segundos datos (E_{Dj}(t_i)) relativos a la energía adquiridos para las otras salidas (18_j).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que, durante la etapa de determinación f) (108; 208; 310; 408), se determina un sistema de ecuaciones a resolver a partir de un postulado de conservación de la energía eléctrica para cada salida (18_j) según el que la energía suministrada por la salida (18_j) es sustancialmente igual a la suma de la energía consumida por los consumidores eléctricos (16_i) conectados a la salida (18_j) y de unas pérdidas eléctricas.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que, durante la etapa de determinación f) (108; 208; 310; 408), se define el sistema de ecuaciones a partir de la ecuación siguiente:

$$E_{Dj}(t_k) = \sum_{i=1}^n (a_{ij} \cdot E_{Ci}(t_k) + \partial 1_{jk} - \partial 2_{jk}),$$

en la que n es el número de consumidores eléctricos (16_i), j es un índice de salida (18_j) que varía de 1 a m, siendo m el número de salidas (18_j), i es un índice de consumidor eléctrico que varía de 1 a n,

k es un índice de juego de datos (J_{ek}) del primer conjunto (E_{n1}) que varía de 1 a w, siendo w el número de juegos de datos (J_{ek}) del primer conjunto (E_{n1}), t_k es el intervalo temporal asociado al juego de datos (J_{ek}) de índice k, a_{ij} es el parámetro de conexión que indica si el consumidor (16i) de índice i está conectado a la salida (18j) de índice j,

- 5 $E_{ci}(t_k)$ es la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico (16i) de índice i durante el intervalo temporal t_k ,
 $E_{Dj}(t_k)$ es la energía eléctrica suministrada por la salida (18j) de índice j durante el intervalo temporal t_k , y
 $\delta 1_{jk}$ y $\delta 2_{jk}$ son unas variables de ajuste representativas de las pérdidas eléctricas.

7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que el sistema de ecuaciones se escribe en una forma matricial de

10 la manera siguiente: $A \cdot z = B$, en la que $z = \begin{bmatrix} a_{11} \\ \vdots \\ a_{n1} \\ \vdots \\ a_{1m} \\ \vdots \\ a_{mm} \\ \partial 1_{11} \\ \vdots \\ \partial 1_{mw} \\ \partial 2_{11} \\ \vdots \\ \partial 2_{mw} \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} E_{D1}(t_1) \\ \vdots \\ E_{D1}(t_w) \\ E_{D2}(t_1) \\ \vdots \\ E_{D2}(t_w) \\ E_{Dm}(t_1) \\ \vdots \\ E_{Dm}(t_k) \end{bmatrix}$ y $A = \begin{bmatrix} U & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & U \end{bmatrix}$

comprendiendo $U = \begin{bmatrix} E_{C1}(t_1) & \dots & E_{Cn}(t_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{C1}(t_w) & \dots & E_{Cn}(t_w) \end{bmatrix}$ y A m*n columnas y m*w líneas.

8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que, durante la etapa de determinación, se utiliza un algoritmo de optimización para resolver el sistema de ecuaciones, verificando el algoritmo de optimización:

$$\min_z f^T \cdot z \quad \text{tal que} \quad \begin{cases} A \cdot z = B \\ l_z \leq z \leq u_z \end{cases},$$

15 en la que $f^T \cdot z = \underbrace{[0 \quad \dots \quad 0]}_{m \cdot n} \underbrace{[1 \quad \dots \quad 1]}_{w \cdot m} \underbrace{[1 \quad \dots \quad 1]}_{w \cdot m} \times z$,

$$l_z = \begin{bmatrix} -\varepsilon \\ \vdots \\ -\varepsilon \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad u_z = \begin{bmatrix} 1 + \varepsilon \\ \vdots \\ 1 + \varepsilon \\ +\infty \\ \vdots \\ +\infty \end{bmatrix},$$

estando ε comprendido entre 0 y 0,5.

9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que cada salida (18j), comprende uno o varios conductores eléctricos de fase, y en el que, durante la etapa de adquisición b), se adquieren los segundos datos ($E_{Dj}(t_i)$) para cada conductor eléctrico de fase y que son relativos a la energía eléctrica suministrada por cada conductor eléctrico de fase, y, durante la etapa de determinación f) (108; 208; 310; 408), los parámetros de conexión
- 20

(a_{ij}) determinados incluyen para cada consumidor eléctrico (16_i) un identificador del o de los conductores eléctricos de fase a los que está conectado.

10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que, durante la etapa de determinación f) (408), el procedimiento comprende las etapas siguientes:

- 5
- f1) la selección (408A) pseudoaleatoria de un tercer conjunto (En_3) de juegos de datos incluidos en el primer conjunto (En_1),
 - f2) la determinación (408G) de los parámetros de conexión (a_{ij}) a partir del tercer conjunto (En_3) seleccionado entre el primer conjunto (En_1).

10 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que, a continuación de la etapa f1) de selección (408A) y anteriormente a la etapa de determinación f2) (408G), el procedimiento comprende las etapas siguientes:

- 15
- f3) el cálculo (408B) de un parámetro (R1) de repetición,
 - f4) la determinación (408C), a partir del tercer conjunto (En_3) seleccionado, de índices intermedios de conexión (b_{ij}) que incluyen para cada consumidor eléctrico (16_i) un identificador de la salida (18_j) a la que está conectado,
 - f5) la memorización (408D) de los índices intermedios de conexión (b_{ij}), y
 - 15 - f6) la comparación (408F) del parámetro de repetición con al menos un criterio de repetición (CR1) predeterminado,

20 y, según el resultado de la etapa de comparación f6) (408F), la realización de una etapa entre, por una parte, la repetición de las etapas de selección f1), de cálculo f3), de determinación f4), de memorización f5) y de comparación f6) y, por otra parte, la etapa de determinación f2) de los parámetros de conexión (a_{ij}) en función de los índices intermedios de conexión (b_{ij}) memorizados.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que, el procedimiento comprende la etapa siguiente:

- f7) el cálculo (408E), para cada consumidor (16_i) y para cada salida (18_j), de un número de asignación (NA_{ij}) relativo al número de veces en el que los índices intermedios de conexión (b_{ij}) memorizados indican que el consumidor (16_i) está conectado a la salida (18_j),

25 y en el que, durante la etapa de determinación f2) (408G), se determinan los parámetros de conexión (a_{ij}) a partir de los números de asignación (NA_{ij}) calculados.

13. Producto programa de ordenador que incluye unas instrucciones de software que, cuando se ejecutan por un ordenador implementan el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

30 14. Sistema (12) de determinación de la estructura de una red (10) de distribución de electricidad, comprendiendo la red (10) de distribución una estación de alimentación que incluye una o varias salidas (18_j) de alimentación de energía eléctrica a varios consumidores eléctricos (16_i) comprendiendo el sistema:

- 35
- para cada consumidor eléctrico (16_i), un primer sensor (20_i) de medida de primeros datos ($E_{Ci}(t_i)$) relativos a la energía eléctrica consumida por el consumidor eléctrico (16_i) durante diferentes intervalos temporales (t_i),
 - para cada salida (18_j), un segundo sensor (22_j) de medida de segundos datos ($E_{Dj}(t_i)$) relativos a la energía eléctrica suministrada por la salida (18_j) durante los diferentes intervalos temporales (t_i),
 - un módulo (41) de adquisición de los primeros ($E_{Ci}(t_i)$) y segundos ($E_{Dj}(t_i)$) datos,
 - un módulo (42) de generación de varios juegos de datos (Je_i) diferentes, asociados cada uno a uno de los intervalos temporales diferentes (t_i), comprendiendo cada juego de datos (Je_i) los primeros ($E_{Ci}(t_i)$) y segundos ($E_{Dj}(t_i)$) datos asociados a dicho intervalo temporal (t_i),

40 **caracterizado porque** el sistema de determinación (12) comprende además:

- 45
- un módulo (44) de cálculo de un primer criterio de selección ($C1_i$) para cada juego (Je_i) de datos, siendo el primer criterio de selección ($C1_i$) un criterio elegido entre una tasa global de pérdidas de energía eléctrica entre la o las salidas (18_j) y los consumidores (16_i) y una diferencia de consumo de energía eléctrica entre los diferentes consumidores (16_i)
 - un módulo (46) de selección, en función de los primeros criterios de selección ($C1_i$) calculados, de un primer conjunto (En_1) de juegos de datos (Je_k) entre los juegos generados, y
 - un módulo (48) de determinación, a partir del tercer conjunto (En_1) seleccionado, de parámetros de conexión (a_{ij}), incluyendo dichos parámetros (a_{ij}) para cada consumidor eléctrico (16_i) un identificador de la salida (18_j) a la que está conectado.

50

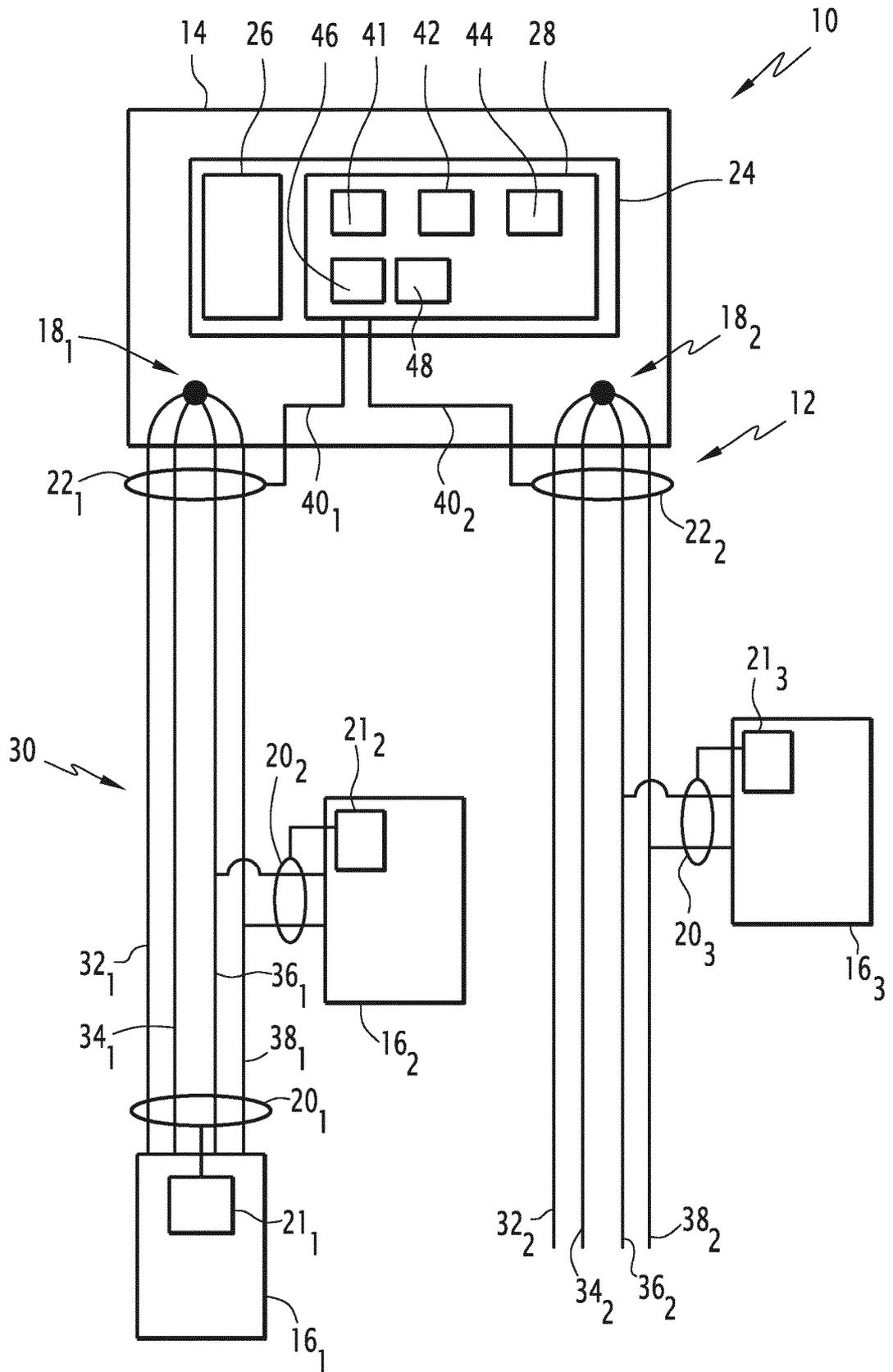


FIG.1

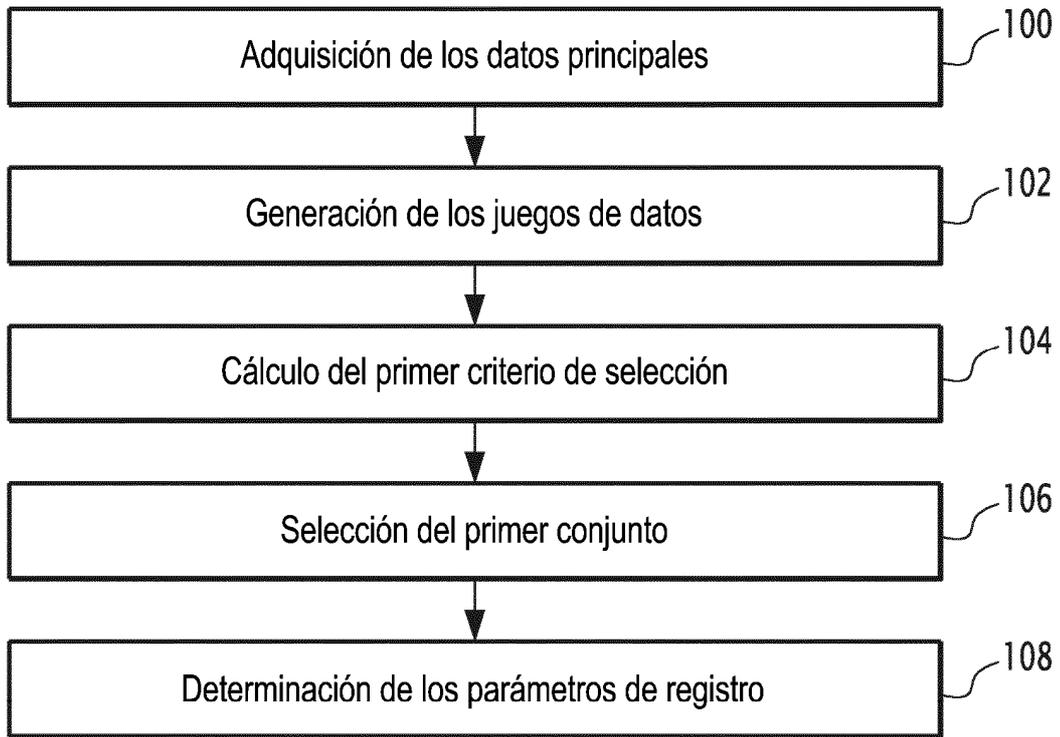


FIG.2

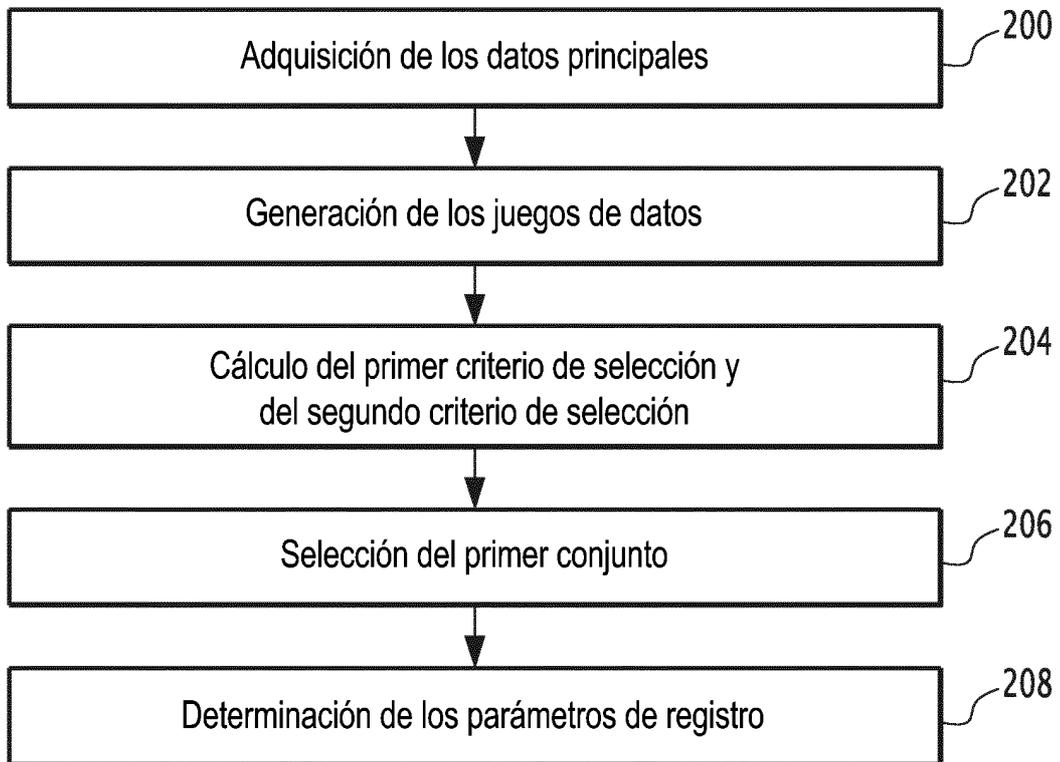


FIG.3

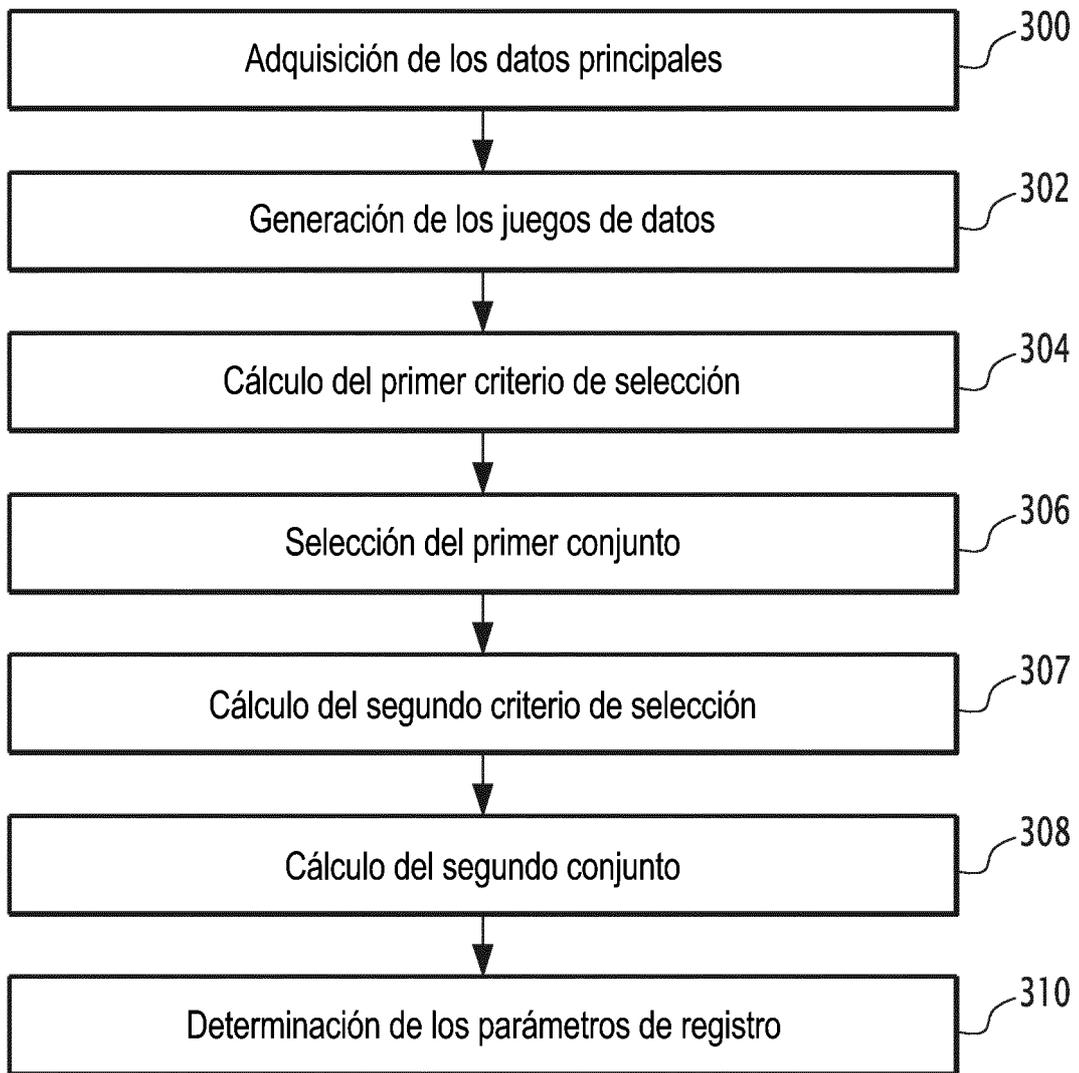


FIG.4

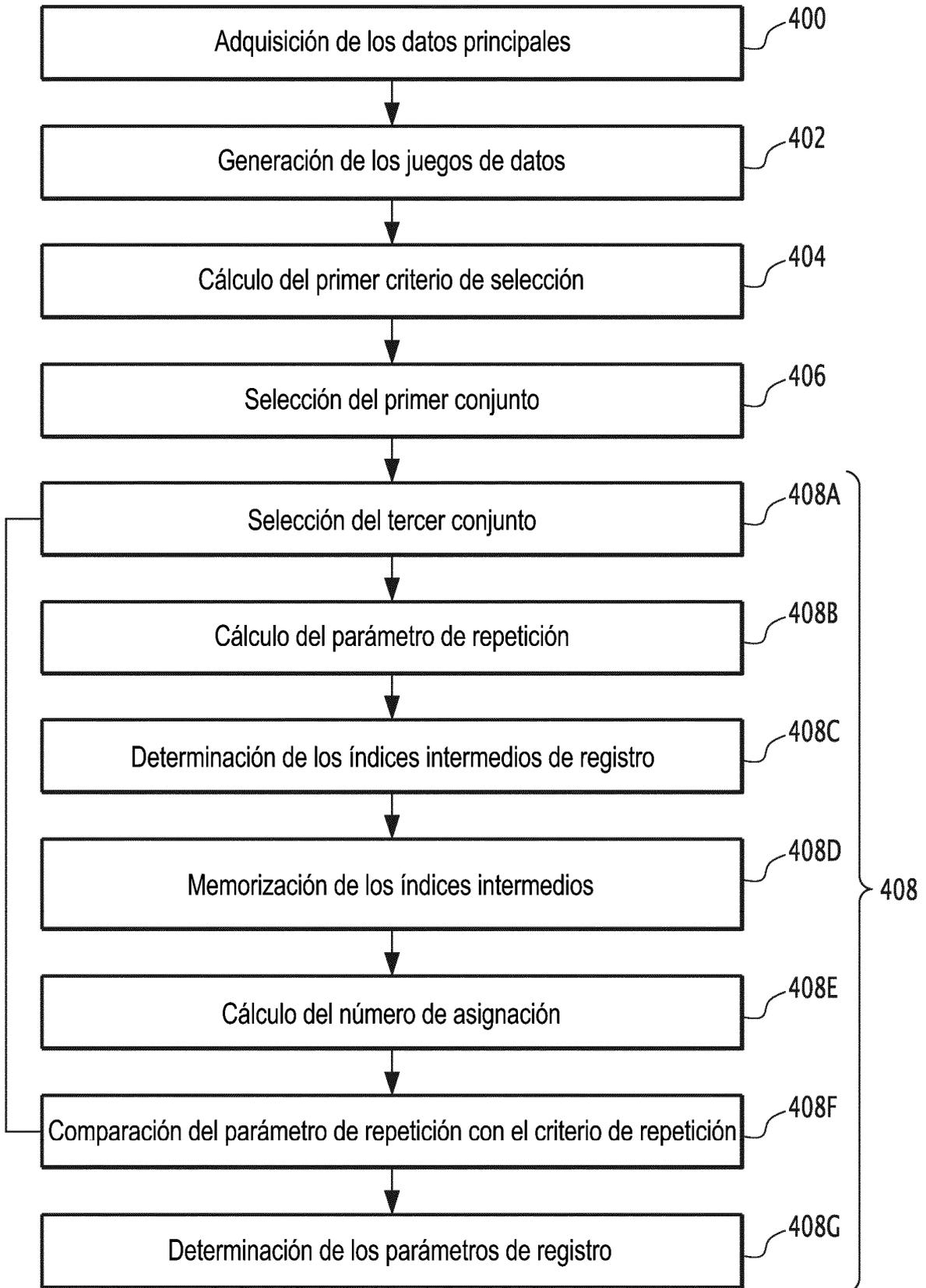


FIG.5