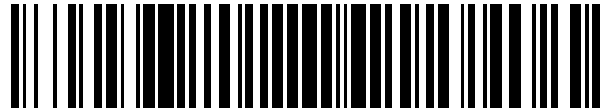


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 553 776**

51 Int. Cl.:

H02J 3/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2012 E 12753409 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2015 EP 2748907**

54 Título: **Procedimiento para establecer parámetros para redes de suministro eléctrico y sistema para llevar a cabo el procedimiento**

30 Prioridad:

24.08.2011 AT 12162011

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

11.12.2015

73 Titular/es:

**SIEMENS AG ÖSTERREICH (100.0%)
Siemensstrasse 90
1210 Wien, AT**

72 Inventor/es:

**KUPZOG, FRIEDERICH y
LUGMAIER, ANDREAS**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 553 776 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 para establecer parámetros para redes de suministro eléctrico y sistema para llevar a cabo el procedimiento.

5 La transición desde redes de suministro eléctrico convencionales con la generación de electricidad centralizada en centrales eléctricas de alto rendimiento con alta disponibilidad a redes con una generación de electricidad descentralizada, en particular en base a las así llamadas energías renovables, como por ejemplo con instalaciones fotovoltaicas, eólicas o de biogás, supone nuevos retos en el campo de la regulación de la carga, de la conservación de la tensión en la red de distribución y en cuanto al mantenimiento de la estabilidad de red.

10 Esto se debe entre otras cosas a que las instalaciones generadoras descentralizadas, al contrario que las centrales medias a grandes, también alimentan directamente a niveles de tensiones más bajas como redes de baja tensión o redes de tensión media.

Actualmente las redes de suministro de energía eléctrica se diseñan para un escenario denominado “el peor caso” (del inglés “worst case”), la posible carga máxima.

15 Este diseño conlleva unos costes elevados para la infraestructura, ya que las redes de electricidad como promedio anual normalmente sólo funcionan a pleno rendimiento aproximadamente en un 30% a 40%.

Una reducción de la carga máxima evitando los picos de carga conduce por ello a ventajas de coste y a un aumento de la seguridad de suministro.

La distribución uniforme de la carga en el tiempo y, de este modo, evitar los picos de carga, puede realizarse mediante redes inteligentes a través de mandos y controles de las instalaciones del sistema de consumo.

20 Para ello se necesita entre otras cosas conocer en detalle la topología de red, es decir los diferentes elementos de red como instalaciones generadoras y consumidoras, así como las conexiones.

Sin embargo, una detección manual de estas topologías no es conveniente debido a la elevada complejidad de las redes de baja tensión.

25 Por ello el objeto de la invención consiste en especificar un procedimiento, con el que pueda detectarse automáticamente la topología de las redes de baja tensión.

Esto se produce conforme a la invención con un procedimiento conforme a la reivindicación 1.

Con las reivindicaciones dependientes se logran unas configuraciones ventajosas.

La invención se explica con más detalle en base a unos ejemplos de realización representados en las figuras.

Aquí muestran a modo de ejemplo:

30 la fig. 1 una representación esquemática de una red, de la que sólo se conocen los puntos de conexión de red, pero no las conexiones entre los mismos,

la fig. 2 una red en malla, y

la fig. 3 una red radial con estructura de árbol.

35 La fig. 1 muestra una red de suministro eléctrico, de la que se conocen las relaciones complejas de corriente y de tensión \underline{U}_1/I_1 , \underline{U}_2/I_2 , \underline{U}_3/I_3 , \underline{U}_N/I_N en los puntos de conexión de red $N_0, N_1, N_2, N_3, \dots, N_N$.

El comportamiento de red se describe con una matriz de contribución compleja

$$\underline{Zi}(t) = \underline{u}(t) \quad (1)$$

40 en donde $\underline{u}(t)$ e $i(t)$ representan vectores columna de las tensiones y corrientes en los puntos de conexión de red $N_0, N_1, N_2, N_3, \dots, N_N$. La tensión en el punto de conexión de red K-ésimo N_K puede determinarse a continuación conforme a

$$\underline{u}_k = \underline{z}_{k,0}i_0 + \underline{z}_{k,1}i_1 + \underline{z}_{k,2}i_2 + \dots + \underline{z}_{k,N}i_N \quad (2)$$

5 El valor del elemento matricial $|\underline{z}_{k,j}|$ por ejemplo es de este modo una medida de la influencia del punto de conexión de red J-ésimo N_j , en el punto de conexión de red K-ésimo N_k . La matriz de contribución \underline{Z} indica, para cada punto de conexión de red $N_0, N_1, N_2, N_3, \dots, N_N$, qué influencia tiene una variación de corriente en el punto de conexión de red sobre las tensiones, respectivamente en el otro punto de conexión de red.

Cada red de suministro eléctrico presenta al menos un punto de conexión de red básico N_0 , que suministra energía a la red. En las redes de baja tensión normales se trata a este respecto habitualmente de un transformador. Para el cálculo de la matriz de contribución este punto de conexión de red básico N_0 puede no tenerse en cuenta y de este modo reducirse la complejidad de cálculo.

10 Para establecer los valores de la matriz de contribución \underline{Z} se realiza una serie de mediciones de corriente y tensión sincronizadas en todos los puntos de conexión de red $N_1, N_2, N_3, \dots, N_N$, con excepción del punto de conexión de red básico N_0 .

15 Estas mediciones se llevan a cabo con unos llamados contadores inteligentes (del inglés smart meters) como contadores de corriente legibles a distancia, con los que debe estar dotado cada punto de conexión de red $N_1, N_2, N_3, \dots, N_N$.

Los datos medidos se reúnen en dos matrices de medición $\underline{U}, \underline{I}$, en donde la primera matriz de medición \underline{U} contiene los valores de tensión medidos y la segunda matriz de medición \underline{I} los valores de corriente medidos. Las dos matrices de medición con las dimensiones $N \times M$ se han representado en las ecuaciones (3) y (4).

$$\underline{U} = \begin{pmatrix} \underline{U}_1(t_0) & \dots & \underline{U}_1(t_{M-1}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{U}_N(t_0) & \dots & \underline{U}_N(t_{M-1}) \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\underline{I} = \begin{pmatrix} \underline{I}_1(t_0) & \dots & \underline{I}_1(t_{M-1}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{I}_N(t_0) & \dots & \underline{I}_N(t_{M-1}) \end{pmatrix} \quad (4)$$

20 De este modo la ecuación 1 puede reformularse en

$$\underline{Z}\underline{I} = \underline{U} \quad (5)$$

Mediante la solución de la ecuación matricial para \underline{Z} , mediante el producto por ejemplo con la pseudo-inversa de Moore-Penrose \underline{I}^+ , como se describe en Penrose, Roger: "A generalized inverse for matrices". Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 51, páginas 406-413, Cambridge, 1954, se obtiene \underline{Z} conforme a la ecuación (6)

$$\underline{Z} = \underline{U}\underline{I}^+ \quad (6)$$

25 El cálculo conforme a la ecuación (5) puede llevarse a cabo de tal modo que el número redundante de ecuaciones lineales de la segunda matriz de medición \underline{I} se resuelva conforme a la ecuación (4), por ejemplo con un planteamiento numérico con optimización de mínimos cuadrados (del inglés least-square) del resultado.

30 Para redes de baja tensión habituales con una estructura trifásica la matriz de contribución \underline{Z} puede establecerse para cada fase individualmente, pero también es concebible que las tres fases se comporten del mismo modo y de esta manera la matriz de contribución pueda aplicarse del mismo modo a las tres fases. En este caso es en particular también posible combinar los valores de medición de diferentes fases para obtener una matriz de medición $\underline{U}, \underline{I}$.

35 Como ya se ha mencionado, la matriz de contribución \underline{Z} ya proporciona para aplicaciones de control de tensión suficientes informaciones acerca de la topología de una red.

Además de lo mencionado, en el caso de presentarse determinadas premisas puede establecerse también la topología completa de una red. Estas premisas se cumplen en el caso de una red radial con una estructura de árbol pura, pero no en una red en malla.

5 Un tema a este respecto consiste en el establecimiento de los puntos de conexión de red en los extremos de la estructura de árbol, los llamados nodos hoja (del inglés leaf nodes).

Estos nodos hoja destacan porque la caída de tensión en los mismos en el caso de un flujo de corriente desde el punto de conexión de red básico N_0 , a través de puntos de conexión de red situados internamente, es mayor que las caídas de tensión en los otros puntos de conexión de red. Por ello un nodo hoja de este tipo puede determinarse conforme a

```

Para cada  $J = 1$  hasta  $N$ 
    Si  $Z_{j,j}$  es el máximo de la línea  $j$  en  $Z$ , y no hay otros
    elementos en la matriz con igual valor, añadir el nodo  $j$  a la
    lista de nodos hoja;
Fin para ;
    
```

10

Si los nodos hoja son conocidos, puede analizarse la ruta respectiva hasta el punto de conexión de red básico N_0 . Para ello se contempla un flujo de corriente virtual entre el nodo hoja y el punto de conexión de red básico N_0 , y se analizan las caídas de tensión causadas por este flujo de corriente virtual en los puntos de conexión de red $N_1, N_2, N_3, \dots, N_N$. Los puntos de conexión de red situados en la ruta de corriente presentan una caída de tensión. Por el contrario, el punto de conexión de red situado fuera de la ruta de corriente no.

15

Sobre esta base pueden identificarse los ramales individuales de la estructura de árbol de la red.

Para una explicación más detallada de la invención se explican dos ejemplos de realización numéricos en base a las figuras 2 y 3.

20

La fig. 2 muestra una red en malla con punto de conexión de red básico N_0 y tres puntos de conexión de red N_1, N_2, N_3 . La impedancia de las líneas entre los puntos de conexión de red se supone que es en cada caso de 0,1 ohmios. Las partes imaginarias de las resistencias de línea se considera que son 0.

Los valores de corriente y tensión medidos, reunidos en las matrices de medición $\underline{U}, \underline{I}$, se han representado en la tabla 1.

Tabla 1

Valor	f_0	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
f_0 [A]	-8	-8	-20	-5	-9	-3
f_1 [A]	5	2	9	0	1	1
f_2 [A]	2	5	3	2	4	1
f_3 [A]	1	1	8	3	4	1
U_0 [V]	230.000	230.000	230.000	230.000	230.000	230.000
U_1 [V]	229.767	229.467	229.433	22.9.700	229.467	229.867
U_2 [V]	229.567	228.967	229.133	229.500	229.067	229.767
U_3 [V]	229.933	229.933	229.467	229.800	229.733	229.933

25

En base a los valores de medición y a las siguientes relaciones

$$\underline{\Delta U}_i = \underline{U}_0 - \underline{U}_i \tag{7}$$

con lo que

$$\underline{\Delta U} = \begin{pmatrix} \underline{\Delta U}_1(t_0) & \dots & \underline{\Delta U}_1(t_{M-1}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{\Delta U}_N(t_0) & \dots & \underline{\Delta U}_N(t_{M-1}) \end{pmatrix} \quad (8)$$

y

$$\underline{Z} = \underline{\Delta U} \underline{I}^T \quad (9)$$

5 Se obtiene la matriz de contribución \underline{Z} .

$$\underline{Z} = \begin{pmatrix} 3.181\text{E-}11 \ \Omega & 1.000\text{E-}01 \ \Omega & 3.333\text{E-}02 \ \Omega \\ 3.181\text{E-}11 \ \Omega & 2.000\text{E-}01 \ \Omega & 3.333\text{E-}02 \ \Omega \\ -3.181\text{E-}11 \ \Omega & 1.171\text{E-}08 \ \Omega & 6.667\text{E-}02 \ \Omega \end{pmatrix}$$

Debido a que se trata de una red en malla, no es posible ninguna otra declaración sobre la topología.

La fig. 3 muestra un ejemplo de una red radial con estructura de árbol.

Los valores de medición correspondientes se han representado en la tabla 2.

10

Tabla 2

Valor	f_0	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
f_0 [A]	-8	-8	-20	-5	-9	-3
f_1 [A]	5	2	9	0	1	1
f_2 [A]	2	5	3	2	4	1
f_3 [A]	1	1	8	3	4	1
U_0 [V]	230.0	230.0	230.0	230.0	230.0	230.0
U_1 [V]	229.3	229.3	228.8	229.8	229.5	229.8
U_2 [V]	229.2	229.2	228	229.5	229.1	229.7
U_3 [V]	229.9	229.9	229.2	229.7	229.6	229.9

La matriz de contribución correspondiente dice:

$$\underline{Z} = \begin{pmatrix} 0.1 \ \Omega & 0.1 \ \Omega & 0 \ \Omega \\ 0.1 \ \Omega & 0.2 \ \Omega & 0 \ \Omega \\ 0 \ \Omega & 0 \ \Omega & 0.1 \ \Omega \end{pmatrix}$$

15

En este caso también puede establecerse la estructura de árbol planteada. Para esto se establecen en un primer paso los "nodos hoja", es decir los puntos de conexión de red extremos. Esto se produce mediante la comparación de los valores situados en la diagonal de la matriz de contribución con los valores de las filas correspondientes. Si el

valor situado en la diagonal representa un máximo, se trata en el punto de conexión de red correspondiente de un nodo hoja. Éste es el caso para el segundo y el tercer punto de conexión de red N_2 , N_3 , ya que $|z_{22}|$ en la fila 2 y $|z_{33}|$ en la fila 3 representan respectivamente un máximo.

- 5 Partiendo de los dos nodos hoja conocidos del segundo y del tercer punto de conexión de red N_2 , N_3 , a continuación se establecen las conexiones entre los mismos y el punto de conexión de red básico N_0 . Para eso se establecen las relaciones de tensión en los puntos de conexión de red mediante la aplicación de un vector de corriente virtual a la matriz de contribución. Éstas se han representado en la tabla 3.

Tabla 3

Nivel	Tensión [V]	Nodo hoja 2	Nodo hoja 3
1	0	{0,3}	{0,1,2}
2	0.1	{1}	{3}
3	0.2	{2}	

- 10 En la tabla (columna 2) puede verse que, en el caso de un flujo de corriente entre el nodo hoja 2 (punto de conexión de red N_2) y el punto de conexión de red básico N_0 , aparte del punto de conexión de red básico N_0 también el tercer punto de conexión de red N_2 , N_2 está en un nivel de corriente 0 y de este modo fuera de la ruta de corriente contemplada. El primer punto de conexión de red N_1 con nivel de tensión 0,1 está situado por el contrario entre el nodo hoja 2 (punto de conexión de red N_2) y el punto de conexión de red básico N_0 .
- 15 De forma análoga se simula también un flujo de corriente entre el nodo hoja 2 (punto de conexión de red N_2) y el punto de conexión de red básico N_0 y el resultado se ha representado en la columna 3 de la tabla 3.

A partir de la totalidad de los resultados puede obtenerse la estructura de la red.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para establecer parámetros para redes de suministro eléctrico, que comprende los siguientes pasos de procedimiento:

5 - se realiza una serie de mediciones de corriente y tensión sincronizadas en los puntos de conexión de red $N_1, N_2, N_3, \dots, N_N,$

- los datos medidos se reúnen en dos matrices de medición $\underline{U}, \underline{I}$, en donde la primera matriz de medición \underline{U} contiene los valores de tensión medidos y la segunda matriz de medición \underline{I} los valores de corriente medidos, caracterizado porque a partir de los valores de las matrices de medición $\underline{U}, \underline{I}$ conforme a

$$\underline{Z} = \underline{U} \underline{I}^t$$

10 se forma un sistema de ecuaciones redundante y, con la ayuda de procedimientos conocidos para solucionar por aproximaciones sistemas de ecuaciones redundantes, se establece una matriz de contribución \underline{Z} , que comprende los parámetros de la red de suministro eléctrico.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la matriz de contribución \underline{Z} se establece con ayuda de la pseudo-inversa de Moore-Penrose \underline{I}^+ .

15 3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque la matriz de contribución \underline{Z} se utiliza para aplicaciones de control de tensión.

4. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque para redes radiales se establecen a partir de la matriz de contribución \underline{Z} , mediante la consideración de máximos, unos llamados nodos hoja, es decir puntos de conexión de red.

20 5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque para redes radiales se establece a partir de la matriz de contribución \underline{Z} , mediante comparaciones del nivel de tensión de los puntos de conexión de red, la estructura de la red.

25 6. Sistema para llevar a cabo uno de los procedimientos según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque a los puntos de conexión de red están asociados al menos parcialmente unos contadores inteligentes como contadores de corriente legibles a distancia para medir valores de corriente y de tensión, y porque están previstos unos medios para activar los medidores de corriente legibles a distancia y unos medios para valorar los datos medidos, para calcular la matriz de contribución \underline{Z} y para determinar la topología de la red de suministro eléctrico.

FIG 1

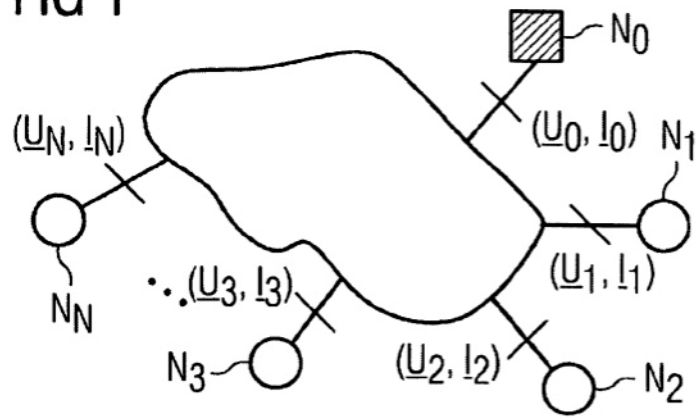


FIG 2

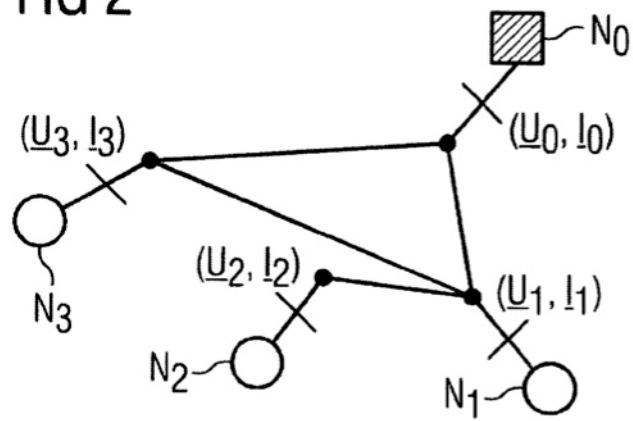


FIG 3

