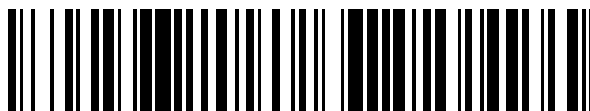


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 765**

51 Int. Cl.:

**G01R 27/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.01.2005** **E 05405031 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017** **EP 1684081**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para caracterizar las propiedades lineales de un componente eléctrico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**24.10.2017**

73 Titular/es:

**ABB RESEARCH LTD (100.0%)  
AFFOLTERNASTRASSE 52  
8050 ZURICH, CH**

72 Inventor/es:

**NIAYESH, KAVEH;  
BERTH, MATTHIAS;  
DAHLQUIST, ANDREAS;  
TIBERG, MARTIN y  
HEITZ, CHRISTOPH**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 638 765 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 dispositivo para caracterizar las propiedades lineales de un componente eléctrico

5 **Descripción**Campo técnico

10 La invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para caracterizar las propiedades lineales de un componente eléctrico de múltiples puertos. También se refiere a un procedimiento para modelar un sistema eléctrico con por lo menos un componente caracterizado de esta manera.

Antecedentes

15 Las propiedades lineales de los componentes eléctricos con múltiples puertos se caracterizan generalmente por una de las matrices de características, por ejemplo, la matriz de impedancia o transmitancia. Éstas pueden medirse utilizando circuitos adecuados.

20 En general, todos los elementos de las matrices de características son dependientes de la frecuencia y, por lo tanto, las mediciones deben realizarse para distintas frecuencias.

25 Se ha encontrado que los procedimientos de medición convencionales pueden proporcionar resultados pobres debido a la precisión limitada de los dispositivos de medición y el ruido eléctrico, en particular si diferentes elementos o valores propios de las matrices de características difieren considerablemente en magnitud. En estos casos, puede perderse información. Por otra parte, las interacciones entre diferentes componentes o subsistemas eléctricos en un sistema sólo pueden describirse con precisión si las propiedades de las matrices de características son bien conocidas.

30 La invención se refiere al estado de la técnica más cercano tal como se muestra en el artículo de Si. Fang, "*Electrical modeling of main injector dipole magnets*", Fermi National Accelerator Laboratory (17 de marzo de 1995). Fang describe un dispositivo para caracterizar las propiedades lineales de un componente eléctrico de cinco puertos que, en este caso, es un imán dipolar. El dispositivo tiene fuentes de tensión y unidades de detección de corriente para la medición eléctrica de los elementos de la matriz de admitancia en función de la frecuencia.

35 En la Guía de Usuario de Agilent Technologies, "*Agilent 4155C/4156C Semiconductor Parameter Analyzer*", Volumen 1, Información General, Agilent part. nº: 04156-90010, Edición 1 (enero de 2001), se describe un dispositivo para caracterizar las propiedades lineales de un componente eléctrico con varios puertos. El dispositivo tiene fuentes de tensión de corriente continua o pulsada, unidades de monitorización de corriente y una unidad de control remoto para medición automática. El dispositivo realiza tanto medición como análisis de resultados de medición.

40

45 US 4.156.842 A describe un sistema para caracterizar las propiedades lineales de una red eléctrica que tiene por lo menos un puerto. El dispositivo utiliza unos generadores de señales de alta frecuencia y unas unidades de detección de tensión y corriente para medición automatizada.

50 En el artículo de P. Guillaume y otros, "*Parametric Identification of Two-Port Models in the Frequency Domain*", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, págs. 263-271, vol. Conf. 8, Atlanta (14 de mayo de 1991), se describe un procedimiento y un dispositivo para caracterizar dos puertos lineales. Las tensiones y corrientes de entrada y salida se miden simultáneamente en la banda de frecuencias de interés. Se presenta un análisis de los datos de medición que se encarga errores de ruido y calibración en los datos de entrada-salida.

En el estado de la técnica citado se realiza un único procedimiento de medición y se describen procedimientos de análisis refinado para una estimación mejorada de las propiedades lineales del sistema eléctrico.

55 Descripción de la invención

60 Por lo tanto, el problema a resolver por la presente invención es proporcionar un procedimiento y un dispositivo mejorados para caracterizar las propiedades lineales de un componente eléctrico de múltiples puertos. Este problema se resuelve mediante el procedimiento y el dispositivo de acuerdo con las reivindicaciones independientes 1, 14 y 16.

Por consiguiente, el procedimiento para caracterizar un componente que tiene  $n > 1$  puertos contiene un "procedimiento de estimación" en el cual se determina una matriz de admitancia estimada  $Y'$  aplicando tensiones a

los puertos del componente y midiendo la respuesta del componente. El procedimiento de estimación puede consistir, por ejemplo, en una medición convencional de la matriz de admitancia  $Y'$  aplicando una tensión a un puerto, conectando a tierra todos los demás puertos, midiendo la corriente en cada puerto y repitiendo este procedimiento para todos los puertos.

5 El procedimiento comprende, además, un "procedimiento de medición" en el cual se aplican varios patrones de tensión  $u_k$  al puerto. Los patrones de tensión corresponden a los vectores propios  $v_k$  de la matriz de admitancia estimada  $Y'$ , donde "corresponden" se refiere a expresar que el patrón  $u_k$  es sustancialmente (pero no necesariamente exactamente) paralelo al vector propio (normalizado)  $v_k$  y su valor propio correspondiente  $\lambda_k$ . Para cada patrón de tensión aplicado  $u_k$ , se mide la respuesta del componente.

10 Como se ha encontrado, la aplicación de patrones de tensión  $u_k$  correspondiente a los vectores propios de la matriz de admitancia permite obtener una descripción más exacta del componente, incluso si los valores propios de la matriz de admitancia difieren sustancialmente entre sí.

15 La respuesta del dispositivo se mide ventajosamente midiendo, para cada patrón de tensión aplicado  $u_k$ , el patrón de corriente  $i_k$  en los puertos.

20 El dispositivo es capaz de realizar este tipo de medición automáticamente en un dispositivo que tiene  $n > 1$  puertos.

En otro aspecto, la invención va dirigida a un dispositivo que es capaz de determinar automáticamente la respuesta lineal de un componente que tiene  $n > 2$  puertos mediante  $n$  generadores de tensión para generar una tensión para cada puerto, y  $n$  sensores de corriente para detectar la corriente en cada puerto, utilizando el procedimiento descrito en las reivindicaciones.

25 Nótese la corriente en cada puerto, utilizando:

30 En todo este texto, las letras mayúsculas en negrita  $Y$ , se utilizan para indicar matrices, las letras minúsculas en negrita, como  $u$  o  $u_k$ , se utilizan para indicar vectores, y las letras que no están en negrita, tales como  $\lambda_k$ , se utilizan para indicar escalares o componentes de matrices o vectores.

35 Cuando se habla de "propiedades lineales" del componente, este término debe entenderse que engloba cualquier propiedad que sea exacta o cercana a lineal siempre que la propiedad cumpla las relaciones matemáticas de cualquier propiedad que sea exacta o cercana a lineal tal como se describe a continuación con suficiente precisión dentro de la gama de corrientes y tensiones de interés.

Breve descripción de las figuras

40 Otras realizaciones, ventajas y aplicaciones de la invención se dan en las reivindicaciones dependientes, así como en la siguiente descripción detallada con referencia a las figuras:

45 La figura 1 es una ilustración esquemática de un componente a caracterizar,  
La figura 2 es un diagrama de bloques de circuito para un dispositivo de medición para caracterizar el componente,  
La figura 3 es una primera realización de un dispositivo de medición, y  
La figura 4 es una segunda realización de un dispositivo de medición.

Descripción detallada

50 Principio de medición general:

La figura 1 muestra un componente de múltiples puertos 1 que tiene  $n > 1$  puertos  $p_1$  a  $p_n$ . Cuando se aplican tensiones lineales  $u_1$  a  $p_n$  a los puertos  $p_1$  a  $p_n$ , pasan corrientes  $i_1$  a  $i_n$ . La respuesta eléctrica lineal del componente 1 se caracteriza por su matriz de admitancia  $Y$  o, de manera equivalente, por su matriz de impedancia. En la notación de admitancia, aplicando el vector de tensión  $u = (u_1 \dots u_n)$  de tensiones en los puertos  $p_1$  a  $p_n$  se genera un vector de corriente  $i = (i_1 \dots i_n)$  tal como sigue:

$$I = Y \cdot u. \quad (1)$$

60 El principio general de medición de acuerdo con la presente invención se basa en un procedimiento de estimación y un procedimiento de medición. En el procedimiento de estimación, se determina una matriz de admitancia estimada  $Y'$ , en el procedimiento de medición se lleva a cabo una medición más precisa.

En el procedimiento de estimación, los elementos de la matriz de admitancia estimada  $\mathbf{Y}'$  pueden medirse, por ejemplo, directamente utilizando procedimientos convencionales. Los elementos diagonales  $Y'_{ii}$  pueden medirse, por ejemplo, aplicando una tensión  $u_i$  al puerto  $p_i$  y medir la corriente  $i_i$  en el mismo puerto mientras todos los demás puertos son cortocircuitados a cero voltios, es decir,  $Y'_{ii} = i_i/u_i$  mientras  $u_j = 0$  para  $i \neq j$ . Los otros elementos  $Y'_{ij}$  de la matriz pueden medirse aplicando una tensión  $u_i$  en el puerto  $p_i$ , mientras todos los demás puertos se ponen a cero voltios y se mide la corriente  $i_j$  en el puerto  $p_j$ ,  $Y'_{ij} = i_j/u_i$  mientras  $u_j = 0$  para  $i \neq j$ .

Pueden utilizarse también otros procedimientos convencionales para medir la matriz de impedancia estimada  $\mathbf{Y}'$  en el procedimiento de estimación.

En general, la matriz de admitancia estimada  $\mathbf{Y}'$  tiene  $n$  valores propios  $\lambda_1 \dots \lambda_n$  y  $n$  vectores propios correspondientes (normalizados)  $\mathbf{v}_1 \dots \mathbf{v}_n$  para los cuales

$$\mathbf{Y}' \cdot \mathbf{v}_k = \lambda_k \cdot \mathbf{v}_k \quad (2)$$

Una vez que se conoce la matriz de admitancia estimada, pueden calcularse sus vectores propios  $\mathbf{v}_k$ .

En un procedimiento de medición tras el procedimiento de estimación, se aplican varios (en general  $n$ ) patrones de tensión  $\mathbf{u}_k = (u_{1k} \dots u_{nk})$  a los puertos  $p_1 \dots p_n$  del componente 1. Cada patrón de tensión  $\mathbf{u}_k$  corresponde a uno de los vectores propios  $\mathbf{v}_k$ . Para cada patrón de tensión aplicado  $\mathbf{u}_k$ , se mide una respuesta del componente, en particular midiendo el patrón de corriente inducida  $\mathbf{i}_k$ .

Tal como se ha mencionado anteriormente, el patrón de tensión  $\mathbf{u}_k$  corresponde al vector propio (normalizado)  $\mathbf{v}_k$  (que es uno de los  $n$  vectores propios normalizados de la matriz de admitancia), concretamente en el sentido de que el patrón de tensión  $\mathbf{u}_k$  es sustancialmente paralelo al vector propio  $\mathbf{v}_k$  correspondiente al valor propio  $\lambda_k$ . Teóricamente, utilizar  $\mathbf{u}_k \propto \mathbf{v}_k$  sería la mejor solución, pero un dispositivo que genere los patrones de tensión  $\mathbf{u}_k$ , en general, no podrá generar patrones de tensión que coincidan con los vectores propios exactamente debido a errores de discretización. A continuación, se tratan procedimientos para controlar dispositivos con una resolución limitada para generar los patrones de tensión.

Una vez completado el procedimiento de medición, los patrones de tensión  $\mathbf{u}_k$  y los patrones de corriente correspondientes  $\mathbf{i}_k$  caracterizan completamente la respuesta lineal del componente 1.

En general, la matriz de admitancia  $\mathbf{Y}$  depende de la frecuencia. Para modelar completamente el comportamiento del componente 1 en una red, debe conocerse la respuesta lineal del componente 1 para un rango de frecuencias extendido, por ejemplo, entre 50 Hz y varios MHz. Por esta razón, el procedimiento de estimación se lleva a cabo en una pluralidad de frecuencias  $\omega_j$  en el rango dado.

Ventajosamente, para cada procedimiento de estimación, se calculan los valores propios  $\lambda_k(\omega_j)$  a la frecuencia dada  $\omega_j$ . A continuación, se determinan las frecuencias más críticas, que son las frecuencias en las que los valores propios alcanzan un máximo o mínimo local o, en particular, en las que la relación absoluta entre el valor propio más grande y más pequeño tiene un máximo o supera un umbral determinado. Estas frecuencias críticas son de particular interés, ya sea porque son indicativas de una resonancia del componente 1 o porque muestran que algunos de los valores propios estimados pueden ser de poca precisión y es necesario el procedimiento de medición descrito aumente la precisión.

Principalmente, es posible dividir el intervalo de frecuencias deseado en un número de ventanas de frecuencia y calcular las frecuencias más críticas en cada ventana de frecuencia.

Para cada una o por lo menos algunas de las frecuencias críticas, se lleva a cabo el procedimiento de medición descrito anteriormente para refinar la medición. Además, o alternativamente, el procedimiento de medición puede llevarse a cabo en otros puntos dentro del intervalo de frecuencias de interés.

Las frecuencias  $\omega_j$  donde se realizan las mediciones pueden distribuirse de manera lineal o logarítmica en el intervalo de frecuencias de interés. Sin embargo, en una realización ventajosa, la densidad de frecuencias de medición  $\omega_j$  cerca de las frecuencias críticas, tal como se ha mencionado anteriormente, es mayor que la densidad de las frecuencias de medición  $\omega_j$  en regiones espectrales muy alejadas de las frecuencias críticas. Esto permite obtener una caracterización más fiable del componente.

El dispositivo de medición:  
En la figura 2 se describe un dispositivo de medición general 2 para llevar a cabo la invención. En un caso más general, el dispositivo de medición 2 comprende  $n$  fuentes de tensión regulables que generan tensiones  $\phi_1$  a  $\phi_n$ , que se envían a los puertos  $p_1$  a  $p_n$  a través de impedancias  $Z_1$  a  $Z_n$ . Las tensiones  $\phi_1$  a  $\phi_n$  tienen todas la misma

frecuencia y una relación de fase conocida. Las impedancias  $Z_1$  a  $Z_n$  pueden ser prácticamente cero o, tal como se describe más adelante, pueden ser regulables y potencialmente distintas de cero. Se dispone una unidad de control 3 para regular automáticamente las fuentes de tensión y, en su caso, las impedancias  $Z_1$  a  $Z_n$ .

5 Para el dispositivo de la figura 2 se tiene

$$\varphi = u + Z \cdot i, \quad (3)$$

10 donde  $\varphi = (\varphi_1 \dots \varphi_n)$  son las tensiones de las fuentes de tensión,  $u = (u_1 \dots u_n)$  las tensiones de entrada en los puertos, y  $Z$  es una matriz diagonal con los elementos diagonales  $Z_1$  a  $Z_n$ .

Combinando las ecuaciones (1) y (3) se obtiene la siguiente relación entre las tensiones de entrada y las tensiones aplicadas:

15 
$$u = (I + Z \cdot Y)^{-1} \cdot \varphi \quad (4)$$

dónde  $I$  es la matriz de identidad  $n \times n$ .

20 Tal como se ha mencionado anteriormente, las tensiones aplicadas  $u$  deben corresponder a los valores propios  $v_k$  de la matriz de admitancia estimada  $Y'$ . En general, sin embargo, no será posible igualar exactamente esta condición ya que las fuentes de tensión no podrán generar valores de tensión arbitrarios, sino sólo un conjunto discreto de valores. Si el número de valores de tensión que pueden generarse es pequeño, las impedancias  $Z_1$  a  $Z_n$  pueden diseñarse para que sean regulables también para obtener un mayor número de tensiones de entrada  $u$  diferentes.

25 El vector de tensión de entrada  $u_k$  puede expresarse como una combinación lineal de los valores propios  $v_i$ , es decir,

$$u_k = \sum_{i=1}^n \alpha_i v_i \cdot \quad (5)$$

30 Combinando las ecuaciones (5), (1) y (2) se obtiene

$$i = \sum_{i=1}^n \lambda_i \alpha_i v_i \cdot \quad (5)$$

35 Por lo tanto, para maximizar la influencia del  $k$ -ésimo valor propio en el vector de corriente de entrada  $i$  en proporción a los otros valores propios, debe minimizarse la siguiente función de error

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i \alpha_i)^2 - (\lambda_k \alpha_k)^2}{(\lambda_k \alpha_k)^2} \quad (6)$$

40 En otras palabras, para cada valor propio  $\lambda_k$ , deben encontrarse los coeficientes  $\alpha_1 \dots \alpha_n$  (entre el conjunto de posibles coeficientes, que es un conjunto finito debido a la discretización inherente al dispositivo de medición 2) para los cuales el término de la ecuación (6) es más pequeño.

Si el dispositivo de medición 2 tiene fuentes de tensión e impedancia regulables, tal como se muestra en la figura 2, se tiene

45 
$$\alpha = [v_1 \dots v_n]^{-1} \cdot (I + Z \cdot Y')^{-1} \cdot \varphi \quad (7)$$

50 Un dispositivo de medición para llevar a cabo el procedimiento anterior debe comprender, en general,  $n$  generadores de tensión que sean programables para aplicar el patrón de tensión  $u$  a los  $n$  puertos del dispositivo 1. Además, debe comprender  $n$  sensores de corriente para medir las corrientes  $i$ . Debe estar adaptado para aplicar por lo menos  $n$  patrones de tensión adecuados a los puertos consecutivamente para medir la respuesta lineal del componente automáticamente. Esto es especialmente ventajoso para componentes 1 que tienen más de dos puertos ya que la utilización de este tipo de medición automática en componentes con  $n > 2$  puertos proporciona ganancias sustanciales en velocidad y precisión a la vez que se reducen los costes.

55 Ventajosamente, el dispositivo de medición debe comprender una unidad de control para llevar a cabo la medición utilizando los procedimientos de estimación y medición descritos anteriormente.

60 En la figura 3 se muestra una posible realización de un dispositivo de medición 2. En este dispositivo, se dispone un generador de tensión 10 para generar una tensión individual  $\varphi_i$  de amplitud y fase regulables para cada puerto de entrada. También comprende  $n$  sensores de corriente 11, uno para medir la corriente hacia/desde cada puerto. La unidad de control 3 puede regular la tensión de entrada aplicada directamente controlando los generadores de

tensión 10. Si el número de valores de tensión que pueden generarse por cada generador de tensión es pequeño, puede calcularse una tensión óptima para un vector propio dado minimizando el término de la ecuación (6). Para cada patrón de tensión aplicado, la unidad de control 3 mide las corrientes  $i$  a través de los puertos por medio de los sensores de corriente 11.

5 En la figura 4 se muestra otra posible realización de un dispositivo de medición. Este dispositivo comprende solamente una única fuente de tensión 4. La tensión  $\varphi$  desde la fuente de tensión se envía a  $n$  convertidores de tensión 5 controlados por la unidad de control 3, utilizándose la fuente de tensión 4 y los convertidores de tensión 5 en lugar de los generadores de tensión 10 de la realización anterior. Cada convertidor de tensión 5 conecta selectivamente un puerto a la tensión  $\varphi$  directamente, a la tensión  $\varphi$  a través de un circuito de amortiguación 6, a tierra a través de una impedancia 7, a tierra directamente, o bien deja el puerto abierto (impedancia infinita). Este circuito de medición tiene la ventaja de que solamente requiere una única fuente de tensión. A partir de las ecuaciones (6) y (7) pueden calcularse los ajustes adecuados de los convertidores de tensión para cada valor.

15 **Procesamiento posterior de los resultados:**  
Tal como se ha mencionado anteriormente, el procedimiento de medición descrito proporciona, para una frecuencia dada, un conjunto de patrones de tensión  $u_k$  y los correspondientes patrones de corriente  $i_k$ , que caracterizan completamente la respuesta lineal del componente 1 a la frecuencia dada.

20 Los valores  $u_k$  e  $i_k$  para  $k = 1 \dots n$  pueden convertirse, en principio, en una estimación más precisa de la matriz de admitancia  $Y$  o la correspondiente matriz de impedancia. Sin embargo, si los valores propios más pequeños y más grandes de la matriz de admitancia  $Y$  difieren en varios órdenes de magnitud, tal matriz es difícil de procesar numéricamente con cálculos de coma flotante debido a errores de redondeo y precisión limitada de los algoritmos numéricos. Por lo tanto, en una realización ventajosa de la presente invención, los valores  $u_k$  e  $i_k$  se utilizan directamente para un procesamiento adicional, sin una conversión previa a una matriz de admitancia o impedancia  $Y$ .

30 Por ejemplo, los resultados del procedimiento de medición pueden utilizarse, por ejemplo, para modelar las propiedades eléctricas del componente 1 o de una red de la cual forma parte el componente 1. Dicho modelo puede utilizarse, por ejemplo, para analizar la estabilidad de la red en general o su respuesta a determinados eventos en particular.

El procedimiento que se ha descrito aquí puede utilizarse para caracterizar una variedad de componentes, tales como motores eléctricos, transformadores, interruptores, líneas de transmisión, etc.

35 Lista de números de referencia

- 1 componente bajo prueba
- 2 dispositivo de medición
- 40 3 unidad de control
- 4 fuente de tensión única
- 5 conversor de tensión
- 6 circuito de amortiguación
- 7 impedancia
- 45 10 generador de tensión
- 11 sensor de corriente

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para caracterizar las propiedades lineales de un componente eléctrico (1) que tiene  $n > 1$  puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ), incluyendo dicho procedimiento  
 5 un procedimiento de estimación que comprende la etapa de determinar una matriz de admitancia estimada  $Y'$  de dicho componente (1) aplicando tensiones ( $u_1, \dots, u_n$ ) a dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ) y medir una respuesta de dicho componente eléctrico (1), estando caracterizado, además, dicho procedimiento por un procedimiento de medición que comprende la etapa de aplicar varios patrones de tensión  $u_k$  a los puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ) de dicho componente eléctrico (1), correspondiendo cada patrón de tensión  $u_k$  a un vector propio calculado  $v_k$  de dicha matriz de admitancia estimada  $Y'$ , y determinar, en el procedimiento de medición para cada patrón de tensión aplicada  $u_k$ , una respuesta de dicho componente eléctrico (1).

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicho procedimiento de medición comprende la etapa de medir, para cada patrón de tensión  $u_k$  aplicado a dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ), un patrón de corriente  $i_k$  en dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ).

3. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que dicha matriz de admitancia estimada  $Y'$  tiene  $n$  vectores propios  $v_1, \dots, v_n$  y en el que cada patrón de tensión  $u_k$  corresponde a un vector propio distinto  $v_k$ .

4. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el patrón de tensión  $u_k$  es sustancialmente paralelo al vector propio  $v_k$ , en el que los patrones de tensión  $u_k$  y los vectores propios  $v_k$  no se corresponden exactamente debido a errores de discretización en un dispositivo de prueba (3, 2) que genera los patrones de tensión  $u_k$ .

5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que dichos patrones de tensión  $u_k$  se generan por medio de un dispositivo de prueba (3, 2) capaz de aplicar un conjunto discreto de diferentes patrones de tensión  $u_k$  a dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ), en el que cada patrón de tensión  $u_k$  corresponde al elemento de dicho conjunto que tiene la propiedad de que el término

$$\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i \alpha_i)^2 - (\lambda_k \alpha_k)^2}{(\lambda_k \alpha_k)^2}$$

es mínimo, donde  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  son  $n$  valores propios de la matriz de admitancia estimada  $Y'$  y

$$u_k = \sum_{i=1}^n \alpha_i v_i$$

con coeficientes  $\alpha_i$ .

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por el hecho de que dicho dispositivo de prueba (3, 2) tiene  $n$  generadores de tensión (10) que generan  $n$  tensiones diferentes  $\phi_k$ , cuyas tensiones  $\phi_k$  se aplican a través de  $n$  impedancias seleccionables  $Z_k$  a dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ), en el que

$$\alpha = [v_1 \dots v_n]^{-1} \cdot (I + Z \cdot Y')^{-1} \cdot \phi$$

donde  $\alpha$  es un vector de los coeficientes  $\alpha_1$  a  $\alpha_n$ ,  $I$  es la matriz de identidad  $n \times n$ ,  $Z$  es una matriz diagonal con elementos diagonales  $Z_k$  y  $\phi$  es un vector con elementos  $\phi_1$  a  $\phi_n$ .

7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por el hecho de que, en lugar de los  $n$  generadores de tensión (10), se utiliza una única fuente de tensión (4) y  $n$  convertidores de tensión (5) controlados por una unidad de control (3).

8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende las etapas de repetir dicho procedimiento de estimación a una pluralidad de frecuencias en un intervalo de frecuencia de interés y llevar a cabo dicho procedimiento de medición para por lo menos algunas de las frecuencias.

9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por el hecho de que dicho procedimiento de medición se lleva a cabo para frecuencias en las que una relación absoluta entre un valor propio máximo y mínimo de dicha matriz de admitancia estimada  $Y'$  tiene un máximo local o excede un umbral determinado.

10. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9 caracterizado por el hecho de que comprende la etapa de determinar frecuencias críticas, en el que una densidad de mediciones cercanas a dichas frecuencias críticas es mayor que un número de mediciones fuera de dichas frecuencias críticas.
- 5 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por el hecho de que el intervalo de frecuencias deseado se divide en un número de ventanas de frecuencia y las frecuencias más críticas se calculan en cada ventana de frecuencia.
- 10 12. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que los patrones de tensión aplicados  $\mathbf{u}_k$  y los patrones de corriente  $\mathbf{i}_k$  se utilizan directamente para un procesamiento adicional, sin conversión previa a una matriz de admitancia o impedancia  $\mathbf{Y}$ .
- 15 13. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el componente eléctrico (1) es un motor eléctrico, un transformador, un interruptor o una línea de transmisión.
- 20 14. Procedimiento para modelar un sistema eléctrico con por lo menos un componente eléctrico (1) que comprende las etapas de caracterizar el componente eléctrico (1) utilizando el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores determinando los patrones de tensión aplicada  $\mathbf{u}_k$  y, para cada patrón de tensión  $\mathbf{u}_k$  aplicada a dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ), un patrón de corriente  $\mathbf{i}_k$  en dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ), y modelar dicho sistema utilizando dichos patrones de tensión  $\mathbf{u}_k$  y dichos patrones de corriente  $\mathbf{i}_k$  sin calcular una matriz de admitancia o impedancia de dicho componente eléctrico (1).
- 25 15. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizado por el hecho de que el modelo se utiliza para analizar la estabilidad de una red de la cual forma parte el componente eléctrico (1).
- 30 16. Dispositivo (3, 2) para caracterizar las propiedades lineales de un componente eléctrico (1) que tiene  $n > 1$  puertos, comprendiendo dicho dispositivo (3, 2)  $n$  generadores de tensión (10) para generar una tensión ( $u_1, \dots, u_n$ ) para cada puerto ( $p_1, \dots, p_n$ ),  $n$  sensores de corriente (11) para detectar la corriente ( $i_1, \dots, i_n$ ) para cada puerto ( $p_1, \dots, p_n$ ), y una unidad de control (3) que realiza la medición utilizando los procedimientos de estimación y medición de cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 35 17. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 16, caracterizado por el hecho de que, en lugar de los  $n$  generadores de tensión (10), se utiliza una única fuente de tensión (4) y  $n$  convertidores de tensión (5) controlados por la unidad de control (3).
- 40 18. Dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 16-17, caracterizado por el hecho de que tiene  $n > 2$  puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ), en el que la unidad de control (3) genera automáticamente varios patrones de tensión  $\mathbf{u}_k$  en dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ) y mide las correspondientes corrientes  $\mathbf{i}_k$  en dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ) y a partir de las mismas deriva la respuesta lineal de dicho componente eléctrico (1).
- 45 19. Dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 16-18, caracterizado por el hecho de que dicha unidad de control (3) está adaptada para aplicar por lo menos  $n$  patrones de tensión  $\mathbf{u}_k$  diferentes a dichos puertos ( $p_1, \dots, p_n$ ) consecutivamente.



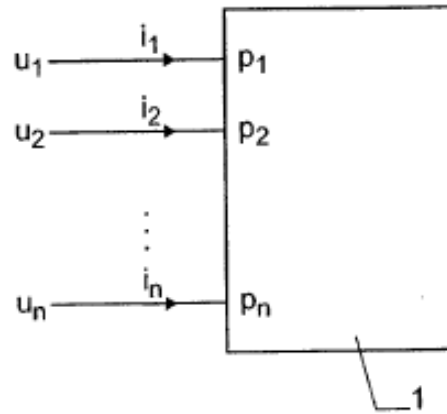


Fig. 1

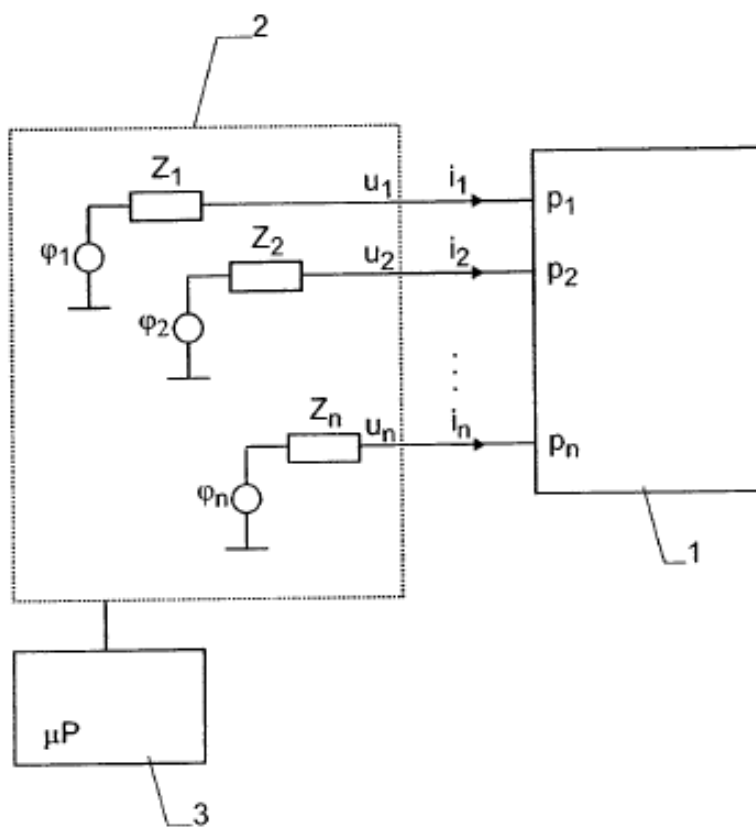


Fig. 2

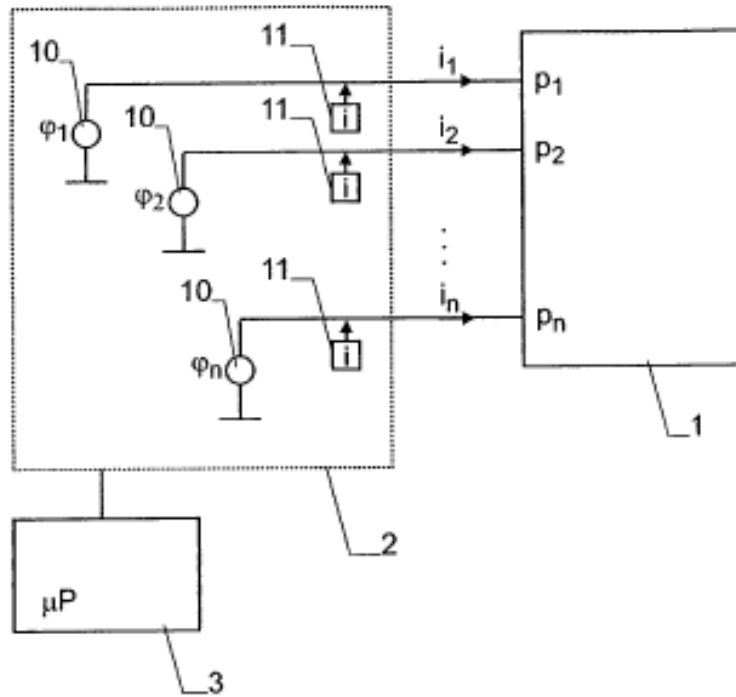


Fig. 3

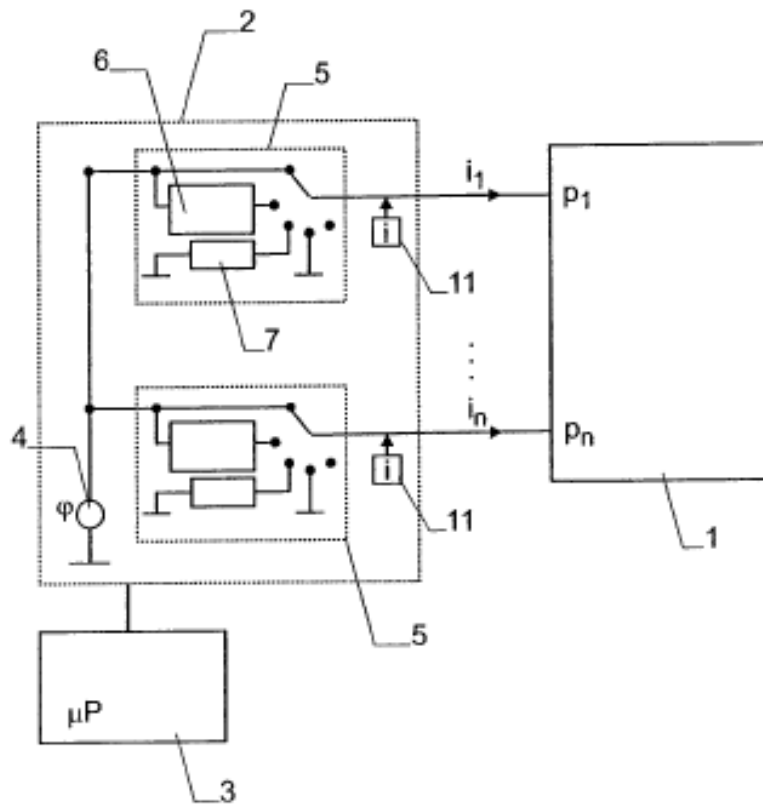


Fig. 4

**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 *Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

**Documentos de patentes citados en la descripción**

10 • US 4156842 A [0007]

**Literatura no de patentes citada en la descripción**

15 • **SI. FANG**. Electrical modeling of main injector dipole magnets. *Fermi National Accelerator Laboratory*, 17 de marzo de 1995 [0005]  
• Agilent 4155C/4156C Semiconductor Parameter Analyzer. General Information. Enero de 2001, vol. 1 [0006]

• **P. GUILLAUME y otros**, Parametric Identification of Two-Port Models in the Frequency Domain. *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 14 de mayo de 1991, 263-271 [0008]