

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 701 821**

51 Int. Cl.:

<b>H02J 3/46</b>	(2006.01)
<b>H02J 3/06</b>	(2006.01)
<b>G06Q 50/06</b>	(2012.01)
<b>H02J 3/38</b>	(2006.01)
<b>H02J 3/00</b>	(2006.01)
<b>G05F 1/625</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2014 PCT/IB2014/067017**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.06.2015 WO15092705**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2014 E 14830414 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.08.2018 EP 3084913**

54 Título: **Métodos y sistemas para la inyección o extracción de energía en una red eléctrica**

30 Prioridad:

**19.12.2013 GB 201322487**

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

**26.02.2019**

73 Titular/es:

**UNIVERSITY OF CAPE TOWN (100.0%)  
Lovers Walk Rondebosch  
Cape Town 7700, ZA**

72 Inventor/es:

**MALENGRET, MICHEL y  
GAUNT, CHARLES TREVOR**

74 Agente/Representante:

**ARIZTI ACHA, Monica**

ES 2 701 821 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

Métodos y sistemas para la inyección o extracción de energía en una red eléctrica

5 **Campo de la invención**

Esta invención se refiere a métodos y sistemas para la inyección o extracción de energía en una red eléctrica, en particular, a compensación de corriente determinando corrientes óptimas para la inyección o extracción de energía.

10 **Antecedentes de la invención**

Hoy en día, la mayoría de sistemas de energía se hacen funcionar usando dos o más cables de corriente alterna (CA) a tensiones altas, medias y bajas y en algunos casos usando corriente continua (CC) de alta tensión (CCAT). Ambas líneas de transmisión de CA y CC tienen pérdidas que son proporcionales al cuadrado de la corriente y la resistencia de los cables (es decir  $I^2R$ ). La energía transmitida es proporcional al producto de la corriente y la tensión si están en fase.

Con el fin de reducir las pérdidas de transmisión, las tensiones se aumentan, en el caso de CA, usando transformadores y, en el caso de CC, transformadores y convertidores electrónicos de energía. La manera más eficaz de transmitir energía en un sistema de generador único con dos cables es cuando la corriente se encuentra en fase con la tensión de generador. En el caso de múltiples cables y generadores, la manera de transmitir corrientes con pérdidas mínimas se vuelve más compleja de resolver. Las redes eléctricas pueden ser redes pequeñas o microrredes de distribución o grandes redes de distribución nacionales con cargas y suministros de muchas formas diferentes.

Generalmente, los sistemas de energía están compuestos por: generadores que transfieren energía desde una fuente de calor, luz, viento, química u otra energía en energía eléctrica; redes de transmisión que transportan energía a largas distancias a redes de distribución; redes de distribución que distribuyen energía a cargas; y las cargas que absorben energía de manera arbitraria en un dominio finito.

Nuevas innovaciones en electrónica de energía han proporcionado nuevas maneras de optimizar los sistemas de energía reduciendo las pérdidas de energía. Los nuevos desarrollos también conllevan oportunidades para clientes privados para generar energía a partir energía eólica o solar e inyectar energía en la red de distribución, así como suministrar energía reactiva para que la carga reduzca la magnitud de corriente extraída de la red de distribución que, de otro modo, aumenta las pérdidas de transmisión.

El documento XP032112445 presenta un esquema de control secundario que va a usarse por un generador distribuido (DG) genérico para el soporte de tensión. Consiste en un limitador de corriente inteligente acoplado a un algoritmo de inyección de energía activa cero (ZAPI). El algoritmo de ZAPI puede garantizar el soporte de tensión sin afectar a la salida de energía real nominal del generador distribuido. El limitador de corriente inteligente garantiza que la corriente demandada por el esquema de soporte de tensión no afecte al ángulo o magnitud de las corrientes asociadas con la inyección de energía real de DG. El esquema de control puede utilizarse por inversores paralelos ya que está basado en soluciones de control de corriente de bucle abierto y de flujo de energía directo. Las simulaciones SABER se proporcionan para mostrar el funcionamiento del esquema de control para un inversor individual y dos inversores paralelos mientras que la red de distribución está conectada.

El documento XP03239225 proporciona un estudio sobre la impedancia equivalente de Thévenin para la monitorización de sistemas de energía. Según el documento, es una tarea importante estimar de manera precisa la impedancia equivalente de Thévenin observada desde un bus de carga para la monitorización y el control de sistemas de energía. El fin de este documento es investigar el mecanismo y las características de la impedancia equivalente de Thévenin en un circuito no lineal. Se introduce un modelo general para investigar la impedancia equivalente de Thévenin de manera analítica. Se presentan dos enfoques típicos para aproximar la impedancia equivalente de Thévenin. Se emplea un sistema de tres buses sencillo para poner a prueba los dos métodos de aproximación. En las simulaciones, se comentan tres tipos de modelos de carga, es decir impedancia constante, corriente constante y energía constante, respectivamente, para la carga dentro de la red equivalente.

Debido a la tecnología en desarrollo, está volviéndose más fácil y más económico generar energía en diversos puntos de interés en una red incluyendo en el punto de consumo. Esta energía no solamente se usa para suministrar cargas en el punto de consumo, sino que también va a inyectarse en la red eléctrica cuando se genera un exceso de energía. La inyección de energía en la red puede realizarse de muchas maneras diferentes dado que los convertidores electrónicos de energía actuales pueden controlar fácilmente la magnitud y el ángulo de fase de las corrientes que se inyectan en cada uno de los cables de la red. Por tanto, esto plantea la cuestión de cuáles tienen que ser estos de modo que la red reciba o suministre energía con pérdidas de transmisión mínimas. La energía en un sistema de múltiples cables se inyecta, normalmente, en una red de una magnitud y fase iguales a la tensión en

el punto de conexión. Sin embargo, esta no es necesariamente la manera más eficaz para que la energía fluya a su punto de consumo ya que las características de resistencia y reactancia, así como la tensión de cada cable pueden no ser siempre las mismas.

## 5 Sumario de la invención

La invención se define mediante las características de las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas se definen mediante las reivindicaciones dependientes.

10 Según un primer aspecto, se proporciona un método para inyectar energía en o extraer energía de una red eléctrica en un punto de acoplamiento común (PCC) que tiene uno o más cables, que comprende: obtener parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC; calcular una energía de Thévenin total para todos los cables basándose en una cantidad específica de energía en el PCC y los parámetros de Thévenin obtenidos; calcular una  
15 corriente óptima que va a inyectarse en o a extraerse del PCC para la inyección o extracción de una cantidad específica de energía, en el que el cálculo se realiza basándose en la energía de Thévenin total y los parámetros de Thévenin; y controlar una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima.

20 Características adicionales permiten obtener parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC para incluir: medir una tensión en el PCC sin inyección de corriente para obtener una tensión de Thévenin; e inyectar una corriente conocida y medir cambios de tensión para calcular una resistencia de Thévenin.

25 Otra característica adicional permite controlar una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima para incluir: controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas en cada cable usando un convertor o inversor conectado en serie.

30 Sin embargo, otras características permiten controlar una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima para incluir controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas en cada cable usando un convertor o inversor conectado en derivación, que incluye: medir una corriente de carga o fuente en cada cable en el PCC; calcular una diferencia entre la corriente medida y una corriente óptima calculada; inyectar o extraer la diferencia de corriente usando el convertor o inversor conectado en derivación.

35 Incluso otras características permiten que el método se repita: inyectando o extrayendo una primera corriente óptima calculada; reobteniendo los parámetros de Thévenin; y calculando una segunda corriente óptima calculada basándose en los parámetros de Thévenin reobtenidos.

40 Inyectar o extraer una corriente y reobtener los parámetros de Thévenin puede repetirse de manera periódica para producir un valor de ejecución de los parámetros de Thévenin.

Inyectar o extraer una corriente puede superponer la corriente inyectada en cualquier corriente extraída o inyectada.

45 Una característica adicional permite controlar una inyección o extracción de corriente para inyectar una corriente en fase con la tensión de Thévenin para garantizar que las pérdidas de cables de red sean mínimas.

La resistencia de Thévenin puede usarse para calcular una magnitud de la corriente óptima. Los parámetros de Thévenin pueden incluir una reactancia de Thévenin que se usa para calcular un ángulo de fase de la corriente óptima.

50 Otra característica adicional permite que el método incluya calcular una tensión de Thévenin medida desde un punto de referencia nulo ponderado de resistencia midiendo una tensión de un cable en cualquier punto de referencia cuando no se inyecta corriente.

55 Incluso otras características permiten obtener parámetros de Thévenin para incluir la obtención de la resistencia de Thévenin: inyectando una corriente en fase con la tensión de Thévenin y midiendo luego una tensión en el PCC; inyectando una corriente en antifase con la tensión de Thévenin y midiendo luego una tensión en el PCC; calculando la resistencia de Thévenin tomando un valor absoluto de la diferencia de las dos tensiones anteriores medidas en el PCC y dividiendo entre dos la magnitud de la corriente inyectada.

60 Características adicionales permiten obtener parámetros de Thévenin para incluir la obtención de la reactancia de Thévenin: inyectando una corriente en un cambio en fase de +90 grados con la tensión de Thévenin y midiendo luego una tensión en el PCC; inyectando una corriente en un cambio en fase de -90 grados con la tensión de Thévenin y midiendo luego una tensión en el PCC; calculando la reactancia de Thévenin tomando un valor absoluto de la diferencia de las dos tensiones anteriores medidas en el PCC y dividiendo entre dos la magnitud de la corriente

inyectada.

Las tensiones medidas pueden ser tensiones de frecuencia fundamentales y se calculan con respecto a un punto de referencia nulo ponderado de resistencia que depende de la resistencia equivalente de cable de Thévenin.

5 Sin embargo, otras características permiten calcular la corriente óptima que va a inyectarse o extraerse para incluir: cambiar las tensiones de Thévenin para cables en un punto de referencia nulo ponderado de resistencia a un vector de tensión equivalente de Thévenin ponderado que depende de las resistencias equivalentes de Thévenin; calcular una energía de cable total de Thévenin óptima en los puntos de tensión de Thévenin equivalentes; calcular una constante  $k_A$  con la energía de cable total de Thévenin calculada dividida entre la norma al cuadrado del vector de tensión equivalente de Thévenin ponderado; calcular un vector de corriente ponderado multiplicando la constante  $k_A$  mediante el vector de tensión de Thévenin ponderado.

15 Aún más características permiten que el método incluya calcular una energía de Thévenin adicional óptima que puede alcanzar un punto de consumo equivalente de red cuando se inyecta o se extrae una cantidad específica de energía en un punto de acoplamiento común después de haber determinado los parámetros de Thévenin.

20 Una realización permite que el método incluya calcular la energía de cable total de Thévenin mediante un método repetitivo que incluye: calcular corrientes de cable óptimas; determinar pérdidas de energía totales para cada uno de los cables; sustraer las pérdidas de cable totales basándose en una cantidad específica de energía en el punto de acoplamiento común; y repetir el método hasta que la energía de Thévenin converge a una precisión suficiente.

25 Características adicionales permiten que el método incluya calcular una energía óptima que va a inyectarse o extraerse en un punto de acoplamiento común después de obtener los parámetros de Thévenin de modo que una cantidad específica de energía alcanza de manera óptima puntos de consumo.

30 En una realización, el punto de acoplamiento común se encuentra en un sistema de corriente alterna (CA) sinusoidal de múltiples cables y al calcular la corriente óptima calcula la magnitud de corriente y el ángulo de fase. En otra realización, el punto de acoplamiento común se encuentra en un sistema de corriente alterna (CA) sinusoidal de dos cables y al calcular la corriente óptima calcula el ángulo de fase. En una realización adicional, el punto de acoplamiento común se encuentra en un sistema de corriente continua (CC) de dos o múltiples cables y al calcular la corriente óptima calcula la magnitud de corriente.

35 Una característica adicional permite que el método incluya calcular una energía adicional óptima que puede alcanzar un punto de consumo equivalente de red cuando se inyecta o extrae de manera óptima una cantidad de energía específica en un punto de acoplamiento común (PCC) específico basándose en los parámetros de Thévenin obtenidos.

40 Aún más características permiten que el método incluya: realizar un método de compensación de corriente con tensiones de fuente conocidas y energía conocida inyectada o extraída; calcular la pérdida de energía adicional asociada con la energía inyectada o extraída conocida en un punto de acoplamiento común; determinar si la pérdida de energía es una pérdida de energía mínima que puede lograrse comparando pérdidas de cable calculadas con pérdidas mínimas que pueden lograrse de manera teórica.

45 Sin embargo, otras características permiten calcular la pérdida de energía asociada con la energía inyectada o extraída conocida en un punto de acoplamiento común que va a calcularse basándose en una energía de Thévenin total y las tensiones de Thévenin y las resistencias de Thévenin individuales de cada cable en un punto de acoplamiento común.

50 Según un segundo aspecto, se proporciona un método para calcular la energía que va a inyectarse en o extraerse de una red eléctrica, que comprende: determinar uno o más parámetros de Thévenin que cambian de manera dinámica de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable de un punto de acoplamiento común (PCC); y calcular una energía óptima que va a inyectarse o extraerse en un punto de acoplamiento común basándose en los parámetros de Thévenin determinados de modo que una cantidad de energía específica alcanza los consumidores de red con pérdidas mínimas. Características adicionales permiten que el método incluya: calcular pérdidas de transmisión en cada uno de una pluralidad de puntos de acoplamiento común basándose en la energía óptima calculada que va a inyectarse o extraerse en ese punto; determinar el punto de acoplamiento común más favorable.

60 Según un tercer aspecto, se proporciona un sistema para inyectar energía en o extraer energía de una red eléctrica en un punto de acoplamiento común (PCC) que tiene uno o más cables, que comprende: una componente de parámetro de Thévenin para obtener parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC; una componente de energía de Thévenin para calcular una energía de Thévenin total para todos los cables basándose en una

5 cantidad de energía específica en el PCC y los parámetros de Thévenin obtenidos; una componente de corriente óptima para calcular una corriente óptima que va a inyectarse en o a extraerse del PCC para la inyección o extracción de una cantidad de energía específica, basándose en la energía de Thévenin total y los parámetros de Thévenin; y una componente de control para controlar una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima.

10 Características adicionales permiten que la componente de parámetro de Thévenin obtenga parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC para incluir: una componente de medición de tensión para medir una tensión en el PCC sin inyección de corriente para obtener una tensión de Thévenin; y una componente de inyección de corriente conocida para inyectar una corriente conocida y la componente de medición de tensión también para medir cambios de tensión para calcular una resistencia de Thévenin.

15 Otra característica adicional permite que la componente de control controle una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima, para incluir: un convertor o inversor conectado en serie para controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas requeridas en cada cable.

20 Sin embargo, otras características permiten que la componente de control controle una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima para incluir un convertor o inversor conectado en derivación para controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas requeridas en cada cable, que incluye componentes para: medir una corriente de carga o fuente en cada cable en el PCC; calcular una diferencia entre la corriente medida y una corriente óptima calculada; e inyectar o extraer la diferencia de corriente usando el convertor o inversor conectado en derivación.

25 Incluso otras características permiten que el sistema incluya una componente de repetición para repetir el método: inyectando o extrayendo una primera corriente óptima calculada; reobteniendo los parámetros de Thévenin; y calculando una segunda corriente óptima calculada basándose en los parámetros de Thévenin reobtenidos.

30 Características adicionales permiten que el sistema incluya una componente de reevaluación para: inyectar o extraer una primera corriente óptima calculada; reobtener los parámetros de Thévenin; y calcular una segunda corriente óptima calculada basándose en los parámetros de Thévenin reobtenidos.

35 Aún más características permiten que la componente de parámetro de Thévenin incluya una componente de obtención de resistencia de Thévenin para obtener la resistencia de Thévenin que se usa para calcular una magnitud de la corriente.

40 Una característica más permite que la componente de parámetro de Thévenin incluya una componente de obtención de reactancia de Thévenin para obtener una reactancia de Thévenin que se usa para calcular un ángulo de fase de la corriente óptima.

Otra característica adicional permite que la componente de medición de tensión calcule una tensión de Thévenin medida desde un punto de referencia nulo ponderado de resistencia midiendo una tensión de un cable en cualquier punto de referencia cuando no se inyecta corriente.

45 Características adicionales permiten que la componente de obtención de resistencia de Thévenin lleve a cabo las etapas de obtener la resistencia de Thévenin: inyectando una corriente en fase con la tensión de Thévenin y midiendo luego una tensión en el PCC; inyectando una corriente en antifase con la tensión de Thévenin y midiendo luego una tensión en el PCC; calculando la resistencia de Thévenin tomando un valor absoluto de la diferencia de las dos tensiones anteriores medidas en el PCC y dividiendo entre dos la magnitud de la corriente inyectada.

50 Incluso otras características permiten que la componente de obtención de reactancia de Thévenin obtenga la reactancia de Thévenin: inyectando una corriente en un cambio en fase de +90 grados con la tensión de Thévenin y midiendo luego una tensión en el PCC; inyectando una corriente en un cambio en fase de -90 grados con la tensión de Thévenin y midiendo luego una tensión en el PCC; calculando la reactancia de Thévenin tomando un valor absoluto de la diferencia de las dos tensiones anteriores medidas en el PCC y dividiendo entre dos la magnitud de la corriente inyectada.

55 El sistema puede incluir un temporizador y al inyectar una corriente y al reobtener los parámetros de Thévenin puede repetirse de manera periódica para producir un valor de ejecución de los parámetros de Thévenin.

60 Inyectar una corriente puede superponer la corriente inyectada en cualquier corriente extraída o inyectada.

Características adicionales permiten que la componente de corriente óptima lleve a cabo las etapas de: cambiar las tensiones de Thévenin para cables en un punto de referencia nulo ponderado de resistencia a un vector de tensión

5 equivalente de Thévenin ponderado que depende de resistencias equivalentes de Thévenin; calcular una energía de cable total de Thévenin óptima en los puntos de tensión de Thévenin equivalentes; calcular una constante  $k_A$  con la energía de cable total de Thévenin calculada dividida entre la norma al cuadrado del vector de tensión equivalente de Thévenin ponderado; calcular un vector de corriente ponderado multiplicando la constante  $k_A$  por el vector de tensión de Thévenin ponderado.

10 En una realización, el punto de acoplamiento común se encuentra en un sistema de corriente alterna (CA) sinusoidal de múltiples cables y la componente de corriente óptima calcula la magnitud de corriente y el ángulo de fase. En otra realización, el punto de acoplamiento común se encuentra en un sistema de corriente alterna (CA) sinusoidal de dos cables y la componente de corriente óptima calcula el ángulo de fase. En todavía otra realización, el punto de acoplamiento común se encuentra en un sistema de corriente continua (CC) de dos o de múltiples cables y la componente de corriente óptima calcula la magnitud de corriente.

15 Según un cuarto aspecto, se proporciona un producto de programa informático para inyectar energía en o extraer energía de una red eléctrica en un punto de acoplamiento común (PCC) a la red eléctrica, en el que el PCC tiene uno o más cables, comprendiendo el producto de programa informático un medio legible por ordenador que tiene un código de programa legible por ordenador almacenado para realizar las etapas de: obtener parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC; calcular una energía de Thévenin total para todos los cables basándose en una cantidad de energía específica en el PCC y los parámetros de Thévenin obtenidos; calcular una corriente óptima que va a inyectarse en o a extraerse del PCC para la inyección o extracción de una cantidad de energía específica, en el que el cálculo se realiza basándose en la energía de Thévenin total y los parámetros de Thévenin; y controlar una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima.

25 Características adicionales permiten que el medio legible por ordenador sea un medio legible por ordenador no transitorio y que el código de programa legible por ordenador se ejecute mediante un circuito de procesamiento.

**Breve descripción de los dibujos**

30 Ahora se describirá la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a las representaciones adjuntas en las que:

la figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra un método según realizaciones de la invención;

35 la figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra componentes de un sistema según realizaciones de la invención;

la figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra componentes de un sistema según realizaciones de la invención;

40 la figura 4 es un diagrama esquemático que ilustra una red eléctrica de microrred de distribución habitual en la que pueden implementarse realizaciones de la invención;

la figura 5 es un modelo simplificado de la microrred de distribución de la figura 4;

45 la figura 6 es un modelo equivalente de Thévenin de una red de microrred de distribución simplificada tal como se representa en la figura 5 que ilustra aspectos de la invención;

la figura 7 es un diagrama esquemático que ilustra una red de Thévenin según aspectos de la invención;

50 la figura 8A es un diagrama fasorial la para inyección de corriente positiva según realizaciones de la invención;

la figura 8B es un diagrama fasorial la para inyección de corriente negativa según realizaciones de la invención;

55 la figura 9 es un diagrama esquemático de un elemento de cálculo de resistencia según realizaciones de la invención;

la figura 10 es un diagrama esquemático de un sistema de Thévenin trifásico de cuatro cables según realizaciones de la invención;

60 la figura 11 es un diagrama de bloques de una red eléctrica a modo de ejemplo que tiene un convertidor electrónico de energía con m cables según realizaciones de la invención;

la figura 12 es un circuito equivalente de Thévenin con m cables de la red de la figura 11;

la figura 13 es un diagrama de bloques de otra red eléctrica a modo de ejemplo que tiene una fuente de energía o

disipador de energía;

la figura 14 es un diagrama de bloques que ilustra un método que puede estar dirigido a un convertor conectado en derivación tal como el de la figura 13;

5 la figura 15 es un diagrama esquemático de una única fase del modelo de Thévenin para una red según realizaciones de la invención;

la figura 16 es un diagrama de flujo que ilustra un método según realizaciones de un aspecto de la invención; y,

10 la figura 17 ilustra un ejemplo de un dispositivo informático en el que pueden implementarse diversos aspectos de la divulgación.

**Descripción detallada con referencia a los dibujos**

15 Para cualquier punto de interés en una red, es posible sustituir la red con un circuito de Thévenin equivalente que consiste en una tensión ( $V_{th}$ ), una resistencia ( $R_{th}$ ) y una reactancia ( $X_{th}$ ) equivalentes de Thévenin en serie que varían a lo largo del tiempo.

20 La tensión de Thévenin es una tensión equivalente en un momento particular y no una que puede identificarse para encontrarse en cualquier punto particular. Es donde la energía se absorbe para realizar un trabajo útil (lo que incluye mitigar pérdidas de transmisión existentes) en el caso de inyectarse en una red o cuando proviene de cuando se extrae energía de una red. No tiene presencia física, pero es un “punto” equivalente si la red se simplifica a un circuito de tres elementos  $V_{th}$ ,  $R_{th}$  y  $X_{th}$  con respecto a un punto de acoplamiento común (PCC) al que se conecta un “dispositivo” de convertor.

La corriente en la tensión “equivalente” o “ficticia” de Thévenin necesita encontrarse en fase para obtener las menores pérdidas posibles.

30 Los métodos y sistemas descritos proporcionan un método optimizado de inyección de energía eléctrica a una red eléctrica de múltiples cables o monofásica, de modo que la energía alcanza su destino cuando se consume con pérdidas mínimas. El método y el sistema descritos también pueden aplicarse a la extracción de energía de la red eléctrica.

35 Pueden proporcionarse un método y un sistema que inyectan o extraen energía eléctrica en o de una red eléctrica de múltiples cables o de un solo cable, de modo que la energía adicional inyectada a o extraída de una red se transmite desde la fuente hasta el destino a o fuera de la red, llegado el caso, de manera que la totalidad de la red eléctrica experimente pérdidas mínimas. El método y el sistema pueden usarse fácilmente en implementaciones de CA o CC sinusoidales y pueden ampliarse a cualquier sistema conformado de tensión o corriente. Cuando se amplían a cualquier sistema conformado de tensión o corriente tal como sistemas no simétricos, no equilibrados o no sinusoidales, el principio también es válido pero la tensión de frecuencia fundamental también requiere medirse.

40 El método y el sistema proporcionan la optimización descrita, en primer lugar, determinando el circuito equivalente de red de Thévenin con respecto a un punto de acoplamiento común (PCC) de un dispositivo a una red eléctrica. El circuito equivalente de Thévenin consiste en tres componentes en serie: la tensión de Thévenin ( $V_{th}$ ), la resistencia equivalente de Thévenin ( $R_{th}$ ), y la reactancia de Thévenin ( $X_{th}$ ).

45 Al usar los parámetros de Thévenin variables de forma dinámica anteriores de cada una de las fases del uno o más cables, las corrientes óptimas correctas pueden determinarse e inyectarse o extraerse de tal manera que reducen las pérdidas de transmisión eléctrica ( $I^2R$ ) de la red a un mínimo. Este mínimo puede estar limitado por la capacidad de la carga y el PCC y, por tanto, puede no ser un mínimo absoluto. Las pérdidas pueden reducirse, por ejemplo, incluso adicionalmente mediante otros dispositivos similares en otros puntos de acoplamiento común. Por tanto, los términos usados a lo largo de toda esta memoria descriptiva tal como “pérdidas mínimas”, “lo que garantiza que las pérdidas de cables de red sean mínimas”, “corriente óptima” y similares deben interpretarse dentro de esta limitación.

50 Las pérdidas totales de la red se minimizan en todo momento incluso con una red variable de manera dinámica en la que las características de Thévenin con respecto al PCC varían de manera continua como resultado de cambios de disponibilidad de cargas y energía.

60 Por ejemplo, cualquier red de tres cables, pequeña o grande, puede modelarse como tres circuitos monofásicos equivalentes de Thévenin en los que la suma de las corrientes son cero (lo que puede hacer referencia a un punto de referencia de tensión ponderada nulo en los casos más generales en los que existen componentes de tensión de secuencia cero promedio e instantáneos y también pueden incluir armonía y componentes de CC).

5 Con el fin de obtener la energía máxima procedente de una fuente de energía conectada a un PCC en una red y alcanzar esta energía el punto de consumo eficaz, (que es, en efecto, las tensiones de Thévenin de cada una de las fases), se requiere calcular cómo necesita inyectarse la corriente de manera óptima (es decir, para obtener pérdidas de transmisión de red mínimas). La tensión de Thévenin no es un punto específico en la red sino un punto de tensión equivalente (pseudopunto de consumo o suministro) con respecto a cualquier PCC específico.

10 Se ha encontrado que la red con respecto a un PCC específico puede sustituirse con un circuito equivalente de Thévenin sencillo que consiste en una tensión de Thévenin  $V_{th}$ , una resistencia equivalente de Thévenin  $R_{th}$ , y una reactancia de Thévenin  $X_{th}$  de cada fase que es una representación suficiente de un sistema monofásico con respecto al PCC con el fin de calcular las corrientes necesarias para transmitir energía de manera óptima con el método descrito. Se describe una realización a modo de ejemplo de un método eficaz de obtener de manera dinámica parámetros de Thévenin en cualquier momento, aunque también pueden usarse otros métodos de obtención de los parámetros de Thévenin. Se describe entonces un método muy eficaz de cómo calcular las corrientes óptimas requeridas en todo momento.

20 Cualquier red con  $m$  cables, que puede ser una red pequeña o grande, puede modelarse como red equivalente de Thévenin con única  $m$ , que hace referencia a un punto de referencia nulo ponderado de resistencia, en cualquier nodo en la red. A medida que la red cambia en tiempo real los modelos equivalentes cambiarán de manera acorde.

El punto de referencia se deriva de la suma de todas las tensiones medidas de una referencia común (uno de los cables), dividiéndose cada una entre la resistencia de cable respectiva, dividiéndose el total entre la suma de las conductancias de los cables.

25 Las tensiones usadas en los sistemas y métodos descritos en el presente documento pueden ajustarse basándose en el punto de referencia nulo ponderado de resistencia, y no son las mediciones sin procesar, tal como se usan por otros, que no pueden aportar parámetros equivalentes de Thévenin verdaderos.

30 Al haber obtenido los parámetros de Thévenin equivalentes para las redes de Thévenin con única  $m$ , pueden calcularse las corrientes y ángulos de fase de  $m$  usando un método de compensación de corriente. Por tanto, esto implica que la energía inyectada a cada uno de los cables no se realiza necesariamente a la misma proporción.

35 Pueden usarse diversos métodos de compensación de corriente. En casos de sistemas de energía sencillos, y suponiendo que se conocen los parámetros de Thévenin, puede calcularse la corriente mediante análisis de permutación; sin embargo, esto puede llevar mucho tiempo.

40 Un enfoque de permutación usado puede consistir en dividir la energía total disponible en un PCC entre los cables de todas las maneras posibles y calcular la energía de Thévenin total obtenida para cada casa. Esto puede realizarse, en primer lugar, ubicando el 10, 20, 30, hasta el 100% de la energía total a cada cable y analizando todas las permutaciones posibles del mismo. La división de energía que aporte la pérdida mínima aportaría una aproximación dentro del 10% de dónde se encontraría la división máxima y puede determinarse de manera más precisa repitiendo el procedimiento acercándose alrededor del punto encontrado con incrementos del 1%. Si se conocen dos corrientes de carga en diferentes momentos y tensiones en un PCC en cuanto a magnitud y ángulo es posible extraer la resistencia, la reactancia de Thévenin y la magnitud de tensión de Thévenin.

45 Un método de compensación de corriente conocido se describe en M. Malengret y C. T. Gaunt, "General theory of instantaneous power for multi-phase systems with distortion, unbalance and direct current components.", Electric Power Systems Research 81.10, págs.1897-1904, 2011 que se incorpora como referencia en el presente documento. Este documento comenta corriente de cable de suministro compensada que suministra una energía instantánea dada y, al que se hace referencia a continuación en el presente documento como "documento 1".

50 Un método de compensación de corriente adicional se describe en M. Malengret y C. T. Gaunt, "General theory of average power for multi-phase systems with distortion, unbalance and direct current components.", Electric Power Systems Research 84.1, págs. 224-230, 2012 que se incorpora como referencia en el presente documento. El primer documento puede extenderse para aplicarse al dominio de energía promedio para cualquier sistema con  $m$  cables con cables de cualquier resistencia en condiciones de distorsión (no sinusoidal), no equilibrio y desvío de CC. Se hace referencia a este documento a continuación en el presente documento como "documento 2".

60 Aplicaciones del método de compensación de corriente se describen en C.T. Gaunt y M. Malengret, "True energy factor metering for m-wire power systems with distortion, unbalance and direct current components", Electric Power Systems Research, 95, págs.140-147 que se incorpora como referencia en el presente documento. Este documento ilustra la practicidad de medición de suministros de energía distorsionados y se hace referencia al mismo a continuación en el presente documento como "documento 3".

El documento 1, el documento 2 y el documento 3 pueden denominarse en conjunto como los “documentos de Malengret y Gaunt”, o similares, a lo largo de toda la siguiente descripción. De manera similar, los métodos desarrollados en estos documentos pueden denominarse “métodos de Malengret y Gaunt”, o similar.

5 Los métodos de compensación de corriente descritos en los documentos publicados solamente pueden aplicarse si se conoce la resistencia de línea de todos los cables (incluyendo neutral o a tierra en caso de retorno de un solo cable (SWER)). En el método descrito, al usar las resistencias de Thévenin encontradas en lugar de las resistencias de línea conocidas y la energía de Thévenin  $P_{th}$  en lugar de la energía de carga, el método de compensación de corrientes desarrollado por M. Malengret y C. T. Gaunt encuentra una nueva aplicación que va más allá de  
10 solamente la compensación de factor energético.

Haciendo referencia a la figura 1, un diagrama (100) de flujo muestra una realización a modo de ejemplo del método descrito. El método puede estar dirigido a un sistema de compensación de corriente que, por ejemplo, puede estar dotado de un controlador central de microrred de distribución (MGCC) o un dispositivo tal como un inversor, convertidor, o similares.  
15

El método descrito puede aplicarse a un dispositivo para la inyección o extracción de energía a o de una red eléctrica. Por ejemplo, el dispositivo puede ser un inversor o un convertidor para la inyección o extracción de energía o el ajuste de la ubicación de energía en cada cable (conectados en línea o en derivación) a o fuera de una red eléctrica.  
20

El método puede usarse en los siguientes contextos:

- En sistemas sinusoidales de múltiples cables (CA) para obtener la magnitud de corriente y el ángulo de fase requeridos para la inyección o extracción de cada cable.  
25

- En un sistema de CA sinusoidal monofásico con el fin de obtener un ángulo de fase de la corriente que va a inyectarse o extraerse.

- En un sistema de CC de dos cables o de múltiples cables (que incluye un retorno único y a tierra en el caso de SWER) con el fin de obtener magnitudes de las corrientes que van a inyectarse o extraerse.  
30

- En sistemas de dos o de múltiples cables con corrientes y tensiones no sinusoidales.

- En cualquier forma de onda de tensión y corriente, así como combinaciones de las anteriores.  
35

En una primera etapa (101), se selecciona un punto de interés en una red eléctrica con  $m$  cables como un punto de acoplamiento común. Es posible sustituir la red con un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada uno de los cables del PCC.  
40

En una etapa (102) siguiente, se obtienen parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin ( $V_{th}$ ) y una resistencia de Thévenin ( $R_{th}$ ) de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC. Los parámetros de Thévenin de una red eléctrica pueden variar de manera dinámica a lo largo del tiempo y, como tal, al obtener parámetros de Thévenin puede obtenerse una captura de los parámetros de Thévenin en un ejemplo particular. Por tanto, la tensión de Thévenin equivalente  $V_{th}$  de red es constante con respecto al PCC para una condición específica de la red (por ejemplo, para un intervalo de tiempo suficientemente pequeño).  
45

La etapa (102) de obtención de parámetros de Thévenin puede incluir adicionalmente obtener una reactancia de Thévenin ( $X_{th}$ ). La resistencia de Thévenin ( $R_{th}$ ) puede usarse para calcular la magnitud de la corriente óptima mientras que la reactancia de Thévenin ( $X_{th}$ ) puede usarse para calcular el ángulo de fase de la corriente óptima.  
50

Puede usarse cualquier método adecuado de obtención de parámetros de Thévenin. En algunos casos, la etapa (102) de obtención de parámetros de Thévenin pueden incluir medir una tensión en el PCC sin inyección de corriente para obtener una tensión de Thévenin y entonces inyectar una corriente conocida y medir cambios de tensión para calcular una resistencia de Thévenin.  
55

Cuando el método se aplica en un sistema de corriente alterna (CA) de múltiples ( $m$ ) cables con el fin de obtener una magnitud de corriente y un ángulo de fase para cada cable, la resistencia de Thévenin  $R_{th}$  y la reactancia de Thévenin  $X_{th}$  pueden determinarse para cada uno de los cables y numerarse de 1 a  $m$ .  
60

Cuando se aplica el método en un sistema de CA de dos cables con el fin de obtener un ángulo de fase de la corriente que va a inyectarse o extraerse, puede determinarse la reactancia de Thévenin  $X_{th}$ . Un sistema de retorno a tierra de un solo cable (SWER) también puede considerarse de dos cables, la tierra se consideraría entonces como un cable.

Cuando el método se aplica en un sistema de CC de múltiples cables o dos cables con el fin de obtener una magnitud de la corriente que va a inyectarse o extraerse, pueden determinarse las resistencias de Thévenin  $R_{th}$ .

5 Al haber obtenido, o determinado, los parámetros de Thévenin, se calcula entonces una energía de Thévenin total ( $P_{th}$ ) basándose en una cantidad de energía específica en el punto de acoplamiento común (PCC) y los parámetros de Thévenin obtenidos en una etapa (103) siguiente.

10 En una etapa (104) siguiente, se calcula una corriente óptima, por ejemplo, un vector de compensación de corrientes, que va a inyectarse en o a extraerse del PCC para la inyección o extracción de una cantidad de energía específica. El cálculo puede realizarse basándose en la energía de Thévenin total y los parámetros de Thévenin. Al calcular el vector de compensación de corrientes pueden determinarse las magnitudes y/o fases de corriente óptima que van a inyectarse o extraerse.

15 En una etapa (105) posterior, se controla una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima. En una realización, la etapa (105) de control de una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima puede incluir controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas requeridas en cada cable usando un convertor conectado en serie. En otra realización, la etapa (105) de control de una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima incluye controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas requeridas en cada cable usando un convertor conectado en derivación. Esto, a su vez, incluye medir una corriente de carga o fuente en cada cable en el PCC y entonces calcular una diferencia entre la corriente medida y una corriente óptima calculada. La diferencia de corriente se inyecta o extrae entonces usando el convertor conectado en derivación.

25 Los parámetros de Thévenin pueden reobtenerse en una etapa (106) posterior después de inyectar o extraer una primera corriente óptima calculada (o una diferencia entre una corriente óptima calculada y una corriente medida). Esto puede realizarse si existe una necesidad de una precisión adicional superponiendo corriente en las corrientes de compensación existentes para ajustar cualquier imprecisión o la influencia que las corrientes inyectadas o extraídas pueden tener sobre los parámetros de Thévenin equivalentes de la red (por ejemplo, no linealidad). Las corrientes de compensación pueden recalcularse y ajustarse entonces de manera acorde y entonces puede inyectarse o extraerse una segunda corriente óptima calculada basándose en los parámetros de Thévenin que varían de manera dinámica obtenidos.

35 El procedimiento puede ser uno repetitivo ya que debido a la no linealidad del sistema necesitaría inyectarse la energía en etapas en aumento y establecer los parámetros de Thévenin más precisos ya que la energía inyectada o extraída puede afectar a la precisión de los parámetros de Thévenin.

40 El método puede volver (107) para adaptarse a cambios en la red (108) eléctrica a la segunda etapa (102) de obtención de parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC.

45 La determinación repetitiva de los parámetros de Thévenin que varían de manera dinámica y los cambios dinámicos correspondientes a la corriente inyectada o extraída pueden repetirse en intervalos de tiempo regulares para ajustarse a cambios de red y para mejorar la precisión de la determinación de parámetros de Thévenin. Los intervalos de tiempo regulares pueden producirse cada segundo, 20 segundos, minuto, etc. dependiendo de la aplicación.

50 Haciendo referencia a la figura 2, se muestra una red (200) eléctrica a modo de ejemplo de forma esquemática en la que pueden implementarse el método y el sistema descritos.

Una red (200) eléctrica puede ser de cualquier modo de pequeña a muy grande y puede incluir múltiples nodos. La red (200) eléctrica puede evolucionar de manera constante como resultado de cambios de disponibilidad de generación de cargas y energía.

55 Puede proporcionarse un dispositivo (210) para inyectar corriente en (211) o extraer corriente de (212) la red (200) eléctrica. El dispositivo (210) puede ser un inversor o un convertor.

60 El sistema descrito proporciona un sistema (220) de compensación de corriente para el dispositivo (210) que determina de manera dinámica la magnitud y/o fase de corriente óptima para inyectarse en o extraerse de la red (200) eléctrica con el fin de minimizar pérdidas a lo largo de la red (200) eléctrica. En algunos casos, el sistema (220) de compensación de corriente puede incluir un controlador que controla un inversor o convertor y, en particular, que controla la inyección o extracción de corriente en o fuera de la red.

En algunas implementaciones, el sistema (220) de compensación de corriente puede tener un circuito de

procesamiento para ejecutar un código de programa legible por ordenador para controlar la inyección de energía en o la extracción de energía de una red eléctrica.

5 Se anticipa que el sistema (220) de compensación de corriente puede encontrarse a distancia del dispositivo (210).  
 En algunos casos, el sistema de compensación de corriente puede comunicarse con varios dispositivos por medio de una red de comunicación y puede determinar de manera dinámica la magnitud y/o fase de corriente óptima que cada uno de los varios dispositivos va a inyectar en o extraer de la red eléctrica con el fin de minimizar pérdidas a lo largo de la red eléctrica. El sistema de compensación de corriente puede obtener, por ejemplo, mediciones a partir de los dispositivos por medio de la red de comunicación y puede transmitir instrucciones de control para la inyección o extracción de corriente a los dispositivos.

15 Haciendo referencia a la figura 3, un diagrama de bloques muestra una realización a modo de ejemplo de un sistema (220) de compensación de corriente para inyectar energía en o extraer energía de una red eléctrica en un punto de acoplamiento común (PCC) que tiene uno o más cables en el que pueden determinarse parámetros de Thévenin.

El sistema puede incluir una componente (302) de parámetro de Thévenin para obtener parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC. La componente (302) de parámetro de Thévenin pueden incluir una componente (303) de medición de tensión para medir una tensión en el PCC sin inyección de corriente para obtener una tensión de Thévenin y una componente (304) de inyección de corriente conocida para inyectar una corriente conocida. La componente (303) de medición de tensión también puede medir cambios de tensión para calcular una resistencia de Thévenin. Una componente (305) de determinación de resistencia de Thévenin puede proporcionarse para calcular la resistencia de Thévenin. La componente (302) de parámetro de Thévenin también puede incluir una componente (306) de determinación de reactancia de Thévenin para determinar una reactancia de Thévenin.

25 Puede proporcionarse una componente (307) de energía de Thévenin para calcular una energía de Thévenin total para todos los cables basándose en una cantidad de energía específica en el PCC y los parámetros de Thévenin obtenidos.

30 Puede proporcionarse una componente (308) de reevaluación de parámetro de Thévenin para un ajuste adicional de los parámetros después de la inyección o extracción de la corriente calculada.

Puede proporcionarse una componente (309) de corriente óptima para calcular una corriente óptima que va a inyectarse en o a extraerse del PCC para la inyección o extracción de una cantidad de energía específica, basándose en la energía de Thévenin total y los parámetros de Thévenin. Calcular la corriente óptima puede incluir calcular una magnitud y/o fase que va a inyectarse o extraerse mediante el sistema (220) de compensación de corriente.

40 También puede proporcionarse una componente (310) de control para controlar una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima. En algunas realizaciones, puede proporcionarse un elemento (311) de inyección/extracción de corriente para la inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima.

45 En una realización, la componente (310) de control incluye o puede estar en contacto con un convertor conectado en serie para controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas requeridas en cada cable. En otra realización, la componente (310) de control incluye o puede estar en contacto con un convertor conectado en derivación para controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas requeridas en cada cable. El convertor conectado en derivación puede incluir componentes para medir una corriente de carga o fuente en cada cable en el PCC, calcular una diferencia entre la corriente medida y una corriente óptima calculada e inyectar o extraer la diferencia de corriente usando el convertor conectado en derivación.

50 Puede proporcionarse una componente (312) de repetición para repetir el método y puede proporcionarse un temporizador (313) para calcular el tiempo de las repeticiones de la compensación de corriente dinámica.

Modelo de Thévenin sencillo de red eléctrica

55 La figura 4 muestra una red (400) de distribución a modo de ejemplo que incluye una microrred (402) de distribución que tiene nodos con múltiples funciones. Ejemplos de estos nodos incluyen: cargas convencionales que absorben energía tales como calentadores, acondicionadores de aire, y similares; y microgeneración tal como celdas fotovoltaicas (PV), almacenamiento (baterías), energía de calor combinada (CHP) y microturbinas. Un sistema de compensación de corriente tal como se describe en el presente documento puede proporcionarse en un punto de acoplamiento común (PCC) para la inyección o extracción óptimos de corriente. El PCC puede ser cualquier superficie de contacto entre fuentes y cargas en una red eléctrica. En un caso, el PCC puede ser el lugar en el que una microrred (402) de distribución se conecta a una red (400) de distribución principal. En otros casos, por ejemplo, el PCC puede ser el lugar en el que una celda fotovoltaica (PV), una microturbina, almacenamiento, energía de calor

combinado o similares se conectan a la red de distribución o microrred de distribución.

La teoría equivalente de Thévenin afirma que cualquier red complicada tal como la ilustrada por los dibujos puede sustituirse por un circuito sencillo con una fuente de resistencia, reactancia y tensión equivalente.

5 Esto puede haberse reducido a un circuito equivalente de Thévenin usando análisis de red habitual, pero por motivos de simplicidad, la validez del método se simuló en una red (500) más sencilla tal como se muestra en la figura 5.

10 Esta sección muestra que cuando el sistema cambia, el circuito equivalente de Thévenin con respecto al PCC cambia. Junto con esto, también muestra que cuando se inyecta energía en una red de malla complicada da como resultado los mismos parámetros resultantes que cuando se inyecta en un modelo equivalente sencillo. Esto se ha demostrado para una única fase, lo que demuestra cómo cada fase funciona eficazmente de manera independiente.

15 La red tal como se representa en la figura 4 se simplificó a la red (500) de la figura 5 con: las cargas como resistencias variables; un nodo de PV como una fuente (503) de tensión; las líneas de transmisión como inductores y resistencias (504); y una microturbina como una resistencia variable, o nodo (501) de interés. La microrred de distribución simplificada de la figura 5 también incluyó una fuente (505) de HV para simular la red de HV.

20 La figura 6 es un modelo (600) equivalente de Thévenin de la red de distribución ilustrada en la figura 5. El modelo equivalente de Thévenin incluye componentes que tienen parámetros relacionados. Las componentes incluyen un resistor (601) de Thévenin que tiene una resistencia  $R_{th}$ , un reactor (602) de Thévenin que tiene una reactancia  $X_{th}$ , una fuente (603) de tensión de Thévenin que tiene una tensión de  $V_{th}$  y un nodo (604) de interés.

25 Los parámetros equivalentes de Thévenin, por ejemplo, una resistencia de  $R_{th}$  y una reactancia de  $X_{th}$ , se encontraron usando un programa sencillo para calcular los parámetros equivalentes de Thévenin para cada uno de los comportamientos de red diferentes. Las reactancias de línea se mantuvieron constantes. Ambas redes esquemáticas de las figuras 5 y 6 se simularon y se encontró la tensión en el nodo (501), (604) de interés para cada caso diferente. Se compararon las tensiones para ambos modelos.

30 Se demostró lo siguiente para los diferentes estados en los que puede encontrarse una red habitual:

- los valores por defecto;

35 • la desconexión de la fuente de PV, al hacer que la tensión del nodo (503) de PV fuera igual a cero;

- el aislamiento de la microrred de distribución de la red de distribución (apagón), al hacer que la tensión de fuente (505) de HV fuera también igual a cero;

40 • la otras cargas en la red de energía ya no absorben energía, sino que la generan ahora, al cambiar la resistencia (502) de carga variable a ohms negativos;

- la absorción de otras cargas en la red de más energía, al cambiar la resistencia de carga variable.

45 Los parámetros de Thévenin derivados de teoría de circuitos habitual o usando el método de derivación de parámetro mediante simulación descritos coincidieron en todos los casos. Esto muestra que una única fase de cualquier red compleja puede describirse en cuanto a sus características de Thévenin con el fin de determinar pérdidas de energía y energía óptima alcanzando sus puntos de consumo.

50 Se simularon los nodos de generación y consumo inyectando corriente y absorbiendo corriente con el fin de calcular los parámetros de Thévenin. Estas corrientes, que no forman parte de las corrientes de compensación, pueden estar superpuestas cuando no se inyecta energía, así como cuando ya se está inyectando o extrayendo energía en un PCC. Esto puede realizarse para mejorar la precisión de los parámetros de Thévenin en el caso en el que la energía introducida fuera significativa con respecto a la de la red.

55 Si no existe linealidad en la red y cargas, puede introducirse energía en etapas y reajustarse los parámetros de Thévenin si fuera necesario en incrementos en la energía delta  $P_{th}$  inyectada o extraída. Alternativamente, puede introducirse toda la energía  $P_{th}$  a la vez y corregirse si fuese necesario variando el nivel de energía en un margen pequeño y repitiendo el procedimiento.

60 Esta simulación se realizó para el caso de la microturbina, pero podría haberse realizado de una manera igual de fácil para cualquier nodo en la red. Tal como afirma la teoría de energía, puede encontrarse un equivalente de Thévenin para cualquier nodo en la red.

Método computacional característico de red

Un inversor puede inyectar una corriente en fase con la tensión, incluso a medida que la tensión cambia. La corriente inyectada provoca que la tensión cambie. La magnitud de la tensión fundamental cambiará en  $\Delta V$ , que se determina por la corriente inyectada y los parámetros de  $R_{th}$  y  $X_{th}$  en la red.

Cualquier nodo en la red tiene un modelo equivalente de Thévenin equivalente para cada cable, que representa toda la red. Aunque se desconoce la fase de la tensión, como la corriente se inyecta en fase, la fase de la tensión en el PCC puede tomarse como la referencia y establecerse como ángulo de fase cero.

La figura 7 muestra un diagrama esquemático para una red (700) de Thévenin a modo de ejemplo. La red (700) de Thévenin incluye una fuente (701) de Thévenin que tiene una tensión  $V_{th}$ , un resistor (702) de Thévenin que tiene una resistencia  $R_{th}$ , un inductor (703) de Thévenin que tiene una reactancia  $X_{th}$ . La red (700) de Thévenin está con respecto a un punto de acoplamiento común (PCC), en este caso, cuando un inversor (704) se conecta a la red. A continuación, la tensión en el inversor (704) se representa como  $V_{inv}$  y la magnitud de corriente inyectada por el inversor es  $I_{inv}$ .

Los parámetros de Thévenin pueden calcularse usando diversos métodos diferentes. Un método se describe en detalle a continuación; sin embargo, otros métodos pueden incluir medir las corrientes y ángulos en fase bajo dos o más condiciones diferentes.

Las figuras 8A y 8B muestran un diagrama (800) fasorial para inyección de corriente positiva y un diagrama (850) fasorial para la inyección de corriente negativa en el inversor (704). Los diagramas (800) y (850) fasoriales muestran que la resistencia de Thévenin puede calcularse inyectando una corriente en fase con la tensión y en el caso siguiente una corriente negativa con la misma magnitud. La tensión cae tras la cancelación de inductor y la tensión cae tras la adición de los resistores en conjunto.

Por tanto, en primer lugar, se inyecta una corriente fundamental en fase con la tensión (o CC en caso de CC) y entonces se inyecta una corriente que es antifase (180 grados fuera de fase) con la tensión. Las magnitudes de las dos tensiones  $V_{in+}$  y  $V_{in-}$  se miden en cada uno de los casos anteriores. Las tensiones que se miden pueden ser las tensiones fundamentales para alojar corrientes no sinusoidales. Si se usan corrientes sinusoidales, entonces puede usarse la tensión.

Entonces, puede calcularse la resistencia de Thévenin:

$$R_{th} = \frac{V_{in+} - V_{in-}}{2I_{inv}} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

En los diagramas fasoriales, se observa que puede calcularse  $R_{th}$ . Se muestra en el diagrama fasorial que al tiempo que se inyecta una corriente positiva  $I_{POS}$  la tensión en el inversor (704) que se toma para ser el PCC se etiqueta como  $V_{in+}$ . Por otro lado, al tiempo que se toma una corriente negativa  $I_{NEG}$  la tensión en el inversor (704) se etiqueta como  $V_{in-}$ . Restar las tensiones en el inversor ( $V_{in+} - V_{in-}$ ) encontradas en cada periodo de tiempo diferente, dará como resultado  $2R_{th}I_{inv}$ .  $X_{th}I_{POS}$  se cancela con  $X_{th}I_{NEG}$  y  $R_{th}I_{POS}$  se añade a  $R_{th}I_{NEG}$ , dado que la magnitud de las corrientes es la misma ( $|I_{POS}| = |I_{NEG}| = I_{inv}$ ). Por tanto, la resistencia de Thévenin puede encontrarse simplemente dividiendo entre dos la magnitud de la corriente inyectada (ecuación 1).

Del mismo modo, puede calcularse la reactancia de Thévenin con este método, siendo la diferencia que las corrientes inyectadas se encuentran ahora en un cambio en fase de 90 grados con respecto a la tensión. La reactancia también se calcula usando la (ecuación 1) con las tensiones en los momentos de inyección respectivos

$$X_{th} = \frac{V_{in+90grad} - V_{in-90grad}}{2I_{inv}} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Se ha usado un paquete de simulación de electrónica de energía para demostrar cómo los parámetros de Thévenin pueden determinarse en un único circuito de Thévenin. Con el fin de simular un inversor, se usó una fuente de corriente sinusoidal sencilla que inyecta corriente en fase con la tensión en el modelo de simulación.

Para el cálculo de reactancia de la red, el modelo de fuente de corriente sigue la tensión con un cambio en fase de

90 grados.

La figura 9 muestra un diagrama (900) esquemático para una red de Thévenin a modo de ejemplo similar a la de la figura 7, diferenciándose porque se han incluido varias sondas para medir diversos parámetros. Las sondas incluyen la sonda 1 (910) y la sonda 4 (913), que se usan para controlar la inyección de corrientes con respecto a la tensión en el PCC mientras que determinan los parámetros de Thévenin. La sonda 2 (911) y la sonda 3 (912) también miden la misma tensión y corriente en el PCC, pero se usan con el fin de calcular las corrientes. La red de Thévenin incluye una fuente (901) de Thévenin, un resistor (902) de Thévenin, una reactancia (903) de Thévenin y un inversor (904).

En una primera etapa, se inyectó una corriente en fase con la tensión y se recogió la tensión máxima usando la sonda 2 (911). Tras 5 ciclos, se inyectó la misma corriente de magnitud, pero ahora a 180 grados fuera de fase y se recogió de nuevo el pico de tensión. Finalmente, usando un bloque de ecuación, se calculó  $R_{th}$  usando (la ecuación 1) y se mostró en un bloque de vista digital. En la práctica, pueden muestrearse y mantenerse valores de tensiones y corrientes instantáneas durante la duración de al menos un ciclo de 50 Hz y usarse para calcular los parámetros de Thévenin, así como las corrientes necesarias que deben inyectarse.

Este método se repitió para todos los parámetros habituales de una red eléctrica de referencia y se recogieron el valor real y el valor calculado.

Este procedimiento se repitió para el cálculo de las reactancias. La única alteración que se realizó fue que la fuente de corriente se encontraba, en primer lugar, a un cambio en fase de +90 grados y después de -90 grados con respecto a la tensión en el PCC. Tras lo cual, se usaron los mismos bloques de ecuación y los resultados se importaron a una tabla.

A partir de la teoría de energía habitual se conoce bien que el modelo de Thévenin puede representar cualquier red compleja. También se ha mostrado que el método anterior calcula correctamente los parámetros de Thévenin con respecto a cualquier PCC, por tanto, pueden usarse estos parámetros para calcular la magnitud de corriente y ángulo requeridos para garantizar que la energía inyectada en la red en cualquier PCC alcanza su destino (en el que se consume) con pérdidas mínimas.

Un inversor puede conectarse a un sistema con tres cables como en sistemas de energía habituales y computar la característica de cada una de las redes con muy poco tiempo de cómputo.

#### Método de compensación de corriente usando tensiones de inversión y fuente

Anteriormente se ha mostrado que una red de malla globalmente complicada puede representarse como una red equivalente de Thévenin sencilla para cada fase. Si existe energía disponible desde cualquier fuente (PV, turbina eólica, etc.) en cualquier nodo, es deseable saber cuánta energía poner en cada cable para transmitir energía máxima a donde puede usarse (es decir, fuente de tensión de Thévenin) o, en otras palabras, de modo que alcanza su destino con pérdidas mínimas. El método de inyección de corriente realiza esto.

Sin embargo, con el fin de inyectar corriente para lograr pérdidas mínimas, debe determinarse si o bien la tensión equivalente de Thévenin o bien la tensión en el punto de conexión deben usarse en el cálculo de corriente del método. Se ha encontrado que la tensión equivalente de Thévenin debe usarse en el cálculo y no la tensión en el punto de inyección o consumo. Siendo el motivo que la tensión equivalente de Thévenin no varía con respecto a la magnitud de la corriente inyectada o extraída que, entonces, será según el método de Malengret y Gaunt tal como se publicó en los documentos a los que se hizo referencia anteriormente. Esto también implica que la corriente inyectada o extraída se encontrará en fase con la tensión equivalente de Thévenin, pero no la tensión en el punto de conexión del dispositivo de compensación.

Por ejemplo, un sistema trifásico con una resistencia neutral nula puede representarse simplemente por tres circuitos de Thévenin. La figura 10 ilustra un sistema (1000) de Thévenin de tres fases, cuatro cables. El sistema (1000) incluye tres circuitos equivalentes de Thévenin, teniendo cada uno diversas componentes de Thévenin. Cada circuito equivalente de Thévenin tiene una fuente (1010, 1020, 1030) de Thévenin, un resistor (1011, 1021, 1031) de Thévenin, una reactancia (1012, 1022, 1032) de Thévenin y un inversor (1013, 1023, 1033).

La figura 11 es un diagrama de bloques de una red (1101) eléctrica a modo de ejemplo que tiene un convertidor (1103) electrónico de energía con m cables según realizaciones de la invención. El convertidor (1103) se conecta a la red eléctrica en un PCC (1102) y puede hacerse funcionar para convertir energía (1104) inyectada o extraída dentro/fuera en una magnitud y/o fase de corriente óptima desde o hasta la red (1101) en el PCC (1102).

La figura 12 ilustra un circuito (1200) equivalente de Thévenin con m cables en un PCC (1202) con un convertidor (1203) electrónico de energía con m cables, o compensador, de la figura 11. El circuito (1200) incluye resistencias  $R_{thm}$  y reactancias  $X_{thm}$  (1231, 1232, 1233, 1234) de Thévenin para cada uno de los m cables y una fuente  $V_{thm}$

(1221, 1222, 1223, 1224) de Thévenin para cada uno de los m cables.

5 Se describen métodos de compensación de corriente conocida en los documentos de Malengret y Gaunt que se describirán ahora con referencia a las figuras 11 y 12. Este método se aplicará a la red y el circuito equivalente a modo de ejemplo de las figuras 11 y 12, que se diferencia porque se usan los parámetros de Thévenin determinados de manera dinámica según realizaciones de la invención en lugar de valores físicos fijos tal como se propuso en los documentos de Malengret y Gaunt.

10 En una primera etapa del método de compensación o de inyección de corriente tal como se describe en los documentos de Malengret y Gaunt y adaptada según realizaciones de la invención, las tensiones de Thévenin se cambian a un vector de tensión de Thévenin ponderado que depende de las resistencias de Thévenin (ecuación 3). Las tensiones y resistencias de Thévenin de cada uno de los cables en el PCC tal como se ilustra en las figuras 11 y 12 se conocen como  $V_{th1}$ ,  $V_{th2}$ , ...  $V_{thm}$  y  $R_{th1}$ ,  $R_{th2}$ , ...  $R_{thm}$  respectivamente.

$$15 \quad v_{th}' = \left( \frac{v_{th1}}{\sqrt{R_{th1}}}, \frac{v_{th2}}{\sqrt{R_{th2}}}, \frac{v_{th3}}{\sqrt{R_{th3}}}, \dots, \frac{v_{thm}}{\sqrt{R_{thm}}} \right) \quad \text{(Ecuación 3)}$$

(A esto se hace referencia en las ecuaciones 9 a 12 en el documento 1.)

20 en donde  $v_{th1}$ ,  $v_{th2}$ ,...  $v_{thm}$  son las tensiones de Thévenin a un punto de referencia nulo ponderado de resistencia. La referencia de tensión se realiza tal como se explica en el documento 1, en el que las tensiones que van a usarse son valores ajustados basándose en el punto de referencia nulo ponderado de resistencia, y no son las mediciones sin procesar. El punto de referencia nulo ponderado de resistencia se deriva de la suma de todas las tensiones medidas procedentes de una referencia común (uno de los cables), dividiéndose cada una entre la resistencia de cable respectiva, dividiéndose el total entre la suma de las conductancias de los cables. Mediciones sin procesar no  
25 pueden inyectar parámetros equivalentes de Thévenin verdaderos.  $R_{th1}$ ,  $R_{th2}$ ,...  $R_{thm}$  son las resistencias de Thévenin equivalentes de cada uno de los cables tal como se determinó anteriormente y tal como se ilustra en el circuito (1200) de la figura 12.

30 En una etapa siguiente, la energía de Thévenin total (de todos los cables)  $P_{th}$  se calcula como por la ecuación 13 tras la cual se describe la derivación a continuación en esta descripción. La cantidad de energía específica en el PCC,  $P_{PCC}$ , se conoce y se usa en la ecuación para determinar una energía de Thévenin total adicional óptima  $P_{th}$ .

35 La ecuación tiene dos soluciones para  $P_{th}$  una para energía extraída y una para energía inyectada. La energía que va a extraerse es la mayor de las dos soluciones para  $P_{th}$ . La energía que va a inyectarse es la menor de las dos soluciones para  $P_{th}$ .

$$P_{th} = \frac{-||v_{th}'||^2 \pm \sqrt{||v_{th}'||^4 + 4P_{PCC}||v_{th}'||^2}}{2} \quad \text{(Ecuación 13)}$$

40 Es importante observar que  $P_{th}$  se calcula sin determinar las corrientes óptimas. Puede usarse un método repetitivo para calcular  $P_{th}$  debido a la no linealidad y la influencia que la energía de inyección sobre la red puede tener sobre los parámetros de Thévenin; sin embargo,  $P_{th}$  tal como se calculó anteriormente puede usarse para comenzar. La repetición puede detenerse después de haber obtenido una determinada precisión de  $P_{th}$ .

45 En una etapa posterior, la constante  $k_A$  se calcula usando  $P_{th}$  dividida entre la norma al cuadrado del vector de tensión ponderado (ecuación 4).

$$k_A = \frac{P_{th}}{||v_{th}'||^2} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

(A esto se hace referencia a partir de la ecuación 17 en el documento 2.)

50 en donde  $||v_{th}'||^2$  es el cuadrado de la norma de la tensión instantánea ponderada de Thévenin  $v_{th}'$  con referencia a la tensión ponderada tal como se describe en el documento 2.

En una etapa posterior, el vector de corriente ponderado se computa multiplicando la constante  $k_A$  por el vector de

tensión ponderado (ecuación 5).

$$i'_A(t) = k_A v'_{th}(t) \quad (\text{Ecuación 5})$$

5 (A esto se hace referencia a partir de la ecuación 17 en el documento 2.)

en el que "" representa un valor de vector ponderado de resistencia tal como se describe en los documentos de Malengret y Gaunt.

10 Finalmente, el vector de corriente que necesita inyectarse o extraerse se determina que es:

$$i_A(t) = i'_A(t) R_{th}^{-1/2} \quad (\text{Ecuación 6})$$

15 El método descrito anteriormente se diferencia en cuatro aspectos de los de los documentos publicados ya que usa la tensión ponderada de Thévenin en lugar de la tensión ponderada en el punto de conexión, la energía de Thévenin  $P_{th}$  en lugar de la energía en el punto de conexión, así como las resistencias de Thévenin calculadas en lugar de las resistencias de cable y las reactancias de Thévenin reales para determinar el ángulo de fase de cada corriente de cable. El documento publicado supone que las tensiones en el punto de acoplamiento son invariables frente a las corrientes inyectadas, pero no este método. Mientras que el documento 3 reconoce específicamente que los

20 enfoques publicados en los documentos 1, 2 y 3 se consideran constantes, aunque que, en realidad, cambiarán, no se plantea ninguna solución para tener en cuenta este cambio. Por tanto, se requería la necesidad de usar un conjunto de parámetros alternativo. Las realizaciones descritas en el presente documento identifican y utilizan estos parámetros.

25 El uso de resistencia de Thévenin, reactancia de Thévenin, tensión de Thévenin y energía de Thévenin en lugar de la resistencia de cable, ignorar la reactancia y usar la tensión y energía en el punto de acoplamiento proporciona ventajas significativas. En particular, la deficiencia de las suposiciones, que se reconoció en el documento 3 como una suposición no válida, se ha superado.

30 La figura 13 es un diagrama de bloques de otra red (1301) eléctrica a modo de ejemplo que tiene una fuente de energía o disipador (1303) de energía. La fuente de energía o disipador (1303) de energía se conecta a la red eléctrica en un PCC (1302) y o bien inyecta energía en o bien extrae energía de la red (1301). La figura 13 se diferencia de la figura 11 porque la energía inyectada o extraída por la fuente de energía o disipador (1303) de energía, llegado el caso, no se inyecta o extrae de manera óptima como por los métodos descritos en el presente

35 documento.

En su lugar, puede obtenerse la misma inyección o extracción de corriente óptima con un convertidor (1305) conectado en derivación (paralelo), o filtro activo de derivación, añadiendo solamente la diferencia necesaria entre las corrientes inyectadas o extraídas ( $I_S$ ) y las corrientes óptimas requeridas ( $I_A$ ). El convertidor (1305) conectado en

40 derivación solamente necesita inyectar la diferencia ( $I_C$ ) entre las corrientes deseadas y las de una carga o suministro habitual. En algunos casos, el convertidor (1305) conectado en derivación puede procesar solamente la componente reactiva de energía y no la componente activa de energía mientras que, en otros casos, por ejemplo, cuando se proporciona un filtro con almacenamiento, una componente activa de energía puede transferirse según las resistencias de cable. En casos en los que se proporciona almacenamiento (por ejemplo, baterías,

45 condensadores, etc.) con el convertidor (1305) conectado en derivación, entonces la componente activa de energía que fluye a o fuera del PCC (1302) puede ser diferente de la de la energía que fluye a o fuera del disipador (1303) de energía durante cortos periodos de tiempo.

Las corrientes ( $I_C$ ) requeridas pueden inyectarse sin energía real (excepto, posiblemente, para pérdidas mínimas) y,

50 por tanto, puede introducir solamente energía no activa.

El convertidor (1305) conectado en derivación es ventajoso porque puede ser sustancialmente más pequeño, menos costoso y más eficaz. La figura 14 es un diagrama de bloques que ilustra un método que puede estar dirigido a un convertidor conectado en derivación tal como el de la figura 13.

55 En una primera etapa (1402), el método puede determinar los parámetros de Thévenin equivalentes con respecto a un PCC. Esta etapa (1402) puede incluir una etapa de medir la corriente y la tensión de cada cable en diferentes casos en el tiempo y usar estas mediciones para determinar los parámetros de Thévenin, por ejemplo, tal como se comentó anteriormente en relación con las figuras 7, 8A y 8B, o según cualquier otro método adecuado. En una

60 etapa siguiente (1404), el método puede medir corrientes de cable ( $I_S$ ) de la fuente de energía o disipador de energía. Entonces, el método, en una etapa (1406) posterior, puede calcular la energía que fluye hasta o desde el

PCC. En una etapa (1408) siguiente, el método puede calcular la energía de Thévenin ( $P_{th}$ ), por ejemplo, como por la ecuación 13 descrita anteriormente. Entonces, el método, en una etapa (1410) posterior, puede calcular las corrientes óptimas ( $I_A$ ) requeridas con el fin de minimizar pérdidas, por ejemplo, como por la ecuación 6 anterior. La diferencia entre las corrientes óptimas ( $I_A$ ) y las corrientes de cable reales ( $I_S$ ) se calcula, entonces, para permitir que las corrientes ( $I_C$ ) requeridas minimicen pérdidas en una etapa (1412) siguiente. En una etapa (1414) posterior, las corrientes ( $I_C$ ) requeridas se inyectan mediante el convertor conectado en derivación. El método puede repetirse (1416) según sea necesario para la precisión y cambios dinámicos del sistema.

En el caso en el que necesite procesarse energía (por ejemplo, de CC a CA) se usaría un convertor conectado en serie y produciría la corriente óptima requerida. Sin embargo, en muchos casos en los que la energía se inyecta mediante un generador, convertor comercial existente, una carga, etc., conectados directamente al PCC, el convertor conectado en derivación podría usarse para optimizar las corrientes. Esto daría como resultado una reducción de pérdidas de transmisión en la red.

El convertor conectado en derivación también puede introducirse en cualquier punto en una red y, por ejemplo, puede colocarse al comienzo o final de una línea de transmisión, en nodos diferentes de un sistema de energía, así como en cualquier punto conveniente entre nodos de red.

Análisis de permutación de distribución de energía para un sistema de energía de tres cables

En redes eléctricas de tres cables habituales, existen tres cables disponibles para cada nodo. Tal como se mostró anteriormente, cada una de estas características de modelo de tres cables (fuente tensión e impedancia) cambia con el tiempo y esta característica variable puede calcularse con inyección de corriente y un método de cálculo de resistencia de Thévenin tal como se describió anteriormente. Al usar análisis de permutación, la energía inyectada en cada cable para conseguir la energía máxima en la fuente también puede encontrarse en casos sencillos. Tras encontrar el mejor resultado u óptimo (es decir, energía máxima en  $P_{th}$ ), se usa el método de compensación de corriente y los resultados se comparan como prueba de concepto.

La figura 15 ilustra aún otro esquema (1500) de una única fase del modelo de Thévenin para una red. La red (1500) de Thévenin incluye una fuente (1501) de Thévenin que tiene una tensión  $V_{th}$ , un resistor (1502) de Thévenin que tiene una resistencia  $R_{th}$ , una reactancia (1503) de Thévenin que tiene una reactancia  $X_{th}$  y un inversor (1504) que recibe una corriente  $I_{in}$  del circuito de Thévenin.

Para un caso a modo de ejemplo sencillo en el que las tensiones de red y corrientes son sinusoidales y no existe inductancia y en el que se requiere encontrar la solución de corrientes de cable óptimas que aporte menos pérdidas de transmisión cuando se inyecta energía en el PCC, puede realizarse el siguiente procedimiento.

Se supone que la energía disponible ( $P_{PCC}$ ) de cualquier fuente (conjunto fotovoltaico, baterías, etc.), se conocen  $V_{th}$  y  $R_{th}$  para cada uno de los cables. A partir de estas, la energía que alcanza la tensión de Thévenin de cada cable (de manera eficaz el punto de consumo) cuando se inyecta energía puede calcularse mediante:

$$P_{th} = V_{th} I_{th} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

$$V_{PCC} = V_{th} + R_{th} I_{PCC} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Al sustituir la (ecuación 8) por la (ecuación 7) y como la corriente en el PCC y el punto de Thévenin son iguales y resolver la corriente usando la ecuación principal aporta:

$$P_{PCC} = V_{th} I_{PCC} + /- R_{th} I_{PCC}^2$$

$$I_{PCC} = \frac{-V_{th} + /- \sqrt{V_{th}^2 - 4R_{th}(-P_{PCC})}}{2R_{th}}$$

Por tanto, la energía que alcanza o se extrae de la tensión equivalente de Thévenin es:

$$P_{th} = V_{th} I_{PCC} \quad \text{(Ecuación 9)}$$

La energía que alcanza el punto de Thévenin de cada cable puede entonces calcularse usando las dos ecuaciones anteriores, en primer lugar, calculando la corriente de cada cable usando la energía asignada a cada cable mediante el enfoque de permutación y entonces calculando la energía que alcanza ese punto de cable de Thévenin específico usando la ecuación 9. La energía de Thévenin total puede entonces encontrarse añadiendo todas las energías de Thévenin de cable individuales.

Este ejercicio también puede llevarse a cabo cuando se exporta usando los signos apropiados en el cálculo de  $P_{PCC}$  e  $I_{PCC}$ .

Energía se refiere a la energía en el PCC y se vuelve negativa cuando se extrae.  $P_{th}$  permanece en cualquier caso y se determinará por la magnitud y el signo  $I_{in}$ . Estas ecuaciones solo se aplican a un análisis de permutación dado que el análisis de permutación presupone una división de energía entre cada cable para cada uno de los casos (divisiones).

El enfoque de permutación consistía en formar un conjunto de la energía que va a inyectarse en cada cable en el punto de PCC. En un caso a modo de ejemplo, puede disponerse de 1000 vatios para inyectarse en una red. Con etapas de 100 vatios (es decir el 10%) en cada línea comenzando en 0 vatios en la línea uno y la línea dos (por tanto, todos los 1000 vatios se encuentran en la línea 3) la energía que alcanza la tensión equivalente de Thévenin (de manera eficaz, el consumidor) de cada cable se calculó cada vez usando la característica encontrada (permanece constante) y la ecuación 9 anterior. Toda la energía de Thévenin total obtenida para cada permutación se recogió y mapeó en una gráfica de zona tridimensional que muestra la energía total que alcanza el punto de Thévenin (sumando las inyecciones de energía respectivas en cada cable). La permutación que facilitó el valor máximo se consideró entonces (o acercó a) con etapas de 10 vatios (es decir el 1%) para obtener un valor máximo más preciso con una resolución del 1%. En una hoja de cálculo los valores máximos encontrados usando las permutaciones se compararon con el método de compensación de corriente.

La energía máxima dentro de una precisión del 10% encontrada usando las tablas con etapas de 100 vatios que alcanzaron el punto de consumo (tensión equivalente de Thévenin) fue ligeramente menor que la energía máxima encontrada usando el método de compensación de corriente. El método se "acercó" sólo una vez usando pequeñas etapas de permutación de 10 vatios cuando se encontró un valor máximo de casi exactamente la energía óptima encontrada usando el método.

En conclusión, las corrientes encontradas para cada cable usando el método de compensación de corriente se relacionan directamente con las razones de energía óptima en cada cable en el análisis de permutación. El método de compensación de corriente desarrollado con característica de red conocida puede usarse para calcular las corrientes para cada cable para obtener el flujo de energía más eficaz.

Flujo de energía óptimo con energía de inyección conocida

En esta sección, se encuentra una solución para formular la energía óptima que se recibirá por el consumidor con una energía conocida inyectada en un PCC.

En secciones anteriores, se ha encontrado que el método de compensación de corriente puede determinar las corrientes necesarias para lograr una transmisión óptima de modo que para cualquier energía específica disponible la energía máxima alcance a los consumidores.

A continuación, se describe un método para calcular la energía que alcanza al consumidor.

A partir de la teoría original después de sustituir  $P$  por  $P_{th}$  y  $V_2$  por  $V'_{th}$ , el vector de corriente ponderado que aporta pérdidas mínimas es:

$$I_A'(t) = \frac{P_{th}}{\|V'_{th}\|^2} V'_{th}(t) \tag{Ecuación 10}$$

A partir del documento 2 la suma de las pérdidas de energía de todos los cables se conoce que son  $\|i\|^2$ , por tanto, al realizar el cuadrado (ecuación 10) aporta las pérdidas de energía para este sistema con 3 cables de la siguiente manera:

pérdidas de energía = 
$$\|I_A'\|^2 = \frac{P_{th}^2}{\|V'_{th}\|^4} V'_{th}(V_{th1}^2 + V_{th2}^2 + V_{th3}^2) = \frac{P_{th}^2}{\|V'_{th}\|^2}$$

(Ecuación 11)

- 5 Por tanto, para el caso de inyección de corriente, la energía en el punto de Thévenin es la energía inyectada menos las pérdidas calculadas anteriormente (ecuación 11). Para el caso de extracción de corriente, la energía en el punto de Thévenin es la energía inyectada añadida a las pérdidas calculadas anteriormente (ecuación 11):

$$P_{th} = P_{PCC} -/+ \frac{P_{th}^2}{|V_{th}'|^2} \quad (\text{Ecuación 12})$$

- 10 Al resolver (la ecuación 12) para  $P_{out}$  usando la fórmula cuadrática se facilitan dos soluciones, una para inyectar y una para extraer energía (el signo menos se aplica a la inyección):

$$P_{th} = \frac{-|V_{th}'|^2 \pm \sqrt{|V_{th}'|^4 + 4P_{PCC}|V_{th}'|^2}}{2} \quad (\text{Ecuación 13})$$

- 15 Al poder determinar la cantidad óptima de energía inyectada en cualquier PCC que alcanza la red con fines útiles (sin calcular, en realidad, las corrientes óptimas) desde el circuito equivalente de Thévenin tiene aplicaciones ventajosas. Esto también se aplica al conocimiento de cuánta energía se requiere para exportar la energía a un PCC particular.

- 20 Por ejemplo, un operario de sistema podría calcular la energía necesaria que debe inyectarse en cada uno de un punto de almacenamiento o punto de suministro (PCC) de modo que una cantidad de energía adicional específica necesaria alcanza al consumidor (tensión de Thévenin) y, por tanto, toma una decisión basada en más información en cuanto a qué punto debe acudir para suministrar la energía requerida y calcular las pérdidas de energía de transmisión asociadas con cada uno de los PCC posibles. Esto puede ser importante al seleccionar el mejor licitador tras solicitar el precio de la energía a diversos licitadores de energía de importación o exportación en una red.

- 30 Dado que el método de compensación de corriente requiere que las tensiones no varíen en el tiempo, debe calcularse la fase ( $\delta$ ) desde la tensión de nodo que el inversor debe inyectar en la corriente también. A partir de esto, puede hacerse que la fase de la corriente y tensión de fuente sea cero.

$$|V_{PCC}| \angle \delta = Z_{th} I_{PCC} + V_{th} = R_{th} I_{PCC} + jX_{th} I_{PCC} + V_{th}$$

El ángulo de la tensión se calcula de la siguiente manera:

$$\delta = \arctan\left(\frac{X_{th} I_{PCC}}{R_{th} I_{PCC} + V_{th}}\right)$$

- 35 Por tanto, a partir de esto se conoce el ángulo de fase de las corrientes de CA de cada uno de los cables en el PCC (en el caso de CC este parámetro no sería necesario).

- 40 Debe observarse que dado que el punto de tensión de Thévenin tiene características de una fuente de tensión pura (sin resistencia o inductancia) las corrientes inyectadas deben encontrarse en fase con la tensión equivalente de Thévenin (en contraposición a la tensión en el PCC) para garantizar que las pérdidas ( $I^2R$ ) de los cables equivalentes (que representan la red) son mínimas. Los métodos de compensación conocidos propuestos por Malengret y Gaunt solamente son óptimos, por tanto, si las tensiones no variables de Thévenin equivalentes se usan en el cálculo (en contraposición al punto de PCC) destinado a la obtención de pérdidas de transmisión mínimas, lo que era la definición propuesta de factor de energía unitario.

- 50 En una realización, la energía de Thévenin  $P_{th}$  puede calcularse directamente usando la ecuación 13, que no necesita conocer las corrientes y se basa en una cantidad de energía específica en el punto de acoplamiento común y los parámetros de Thévenin determinados.

- 55 En una realización alternativa, puede proporcionarse un método repetitivo de determinación de la energía de Thévenin  $P_{th}$ . Las corrientes de cable óptimas pueden calcularse tal como se describió anteriormente usando la ecuación 10 y la ecuación 6. Las pérdidas de energía totales pueden determinarse entonces mediante las sumas de  $R_{th} I_{in}^2$  para cada uno de los cables. Puede obtenerse entonces  $P_{th}$  sustrayendo las pérdidas de cable totales de  $P_{PCC}$

conocidos. El procedimiento puede repetirse hasta que  $P_{th}$  converja a una precisión suficiente.

La figura 16 es un diagrama de flujo de bloques que ilustra un método (1600) según realizaciones de la invención. El método (1600) es una prueba de verificación del concepto de la ecuación 13 o un método de determinación de las corrientes óptimas sin el uso de la ecuación 13.

En una primera etapa (1601), la energía que alcanza la fuente, es decir, "energía de Thévenin o  $P_{th}$ " se establece a la energía de entrada ( $P_{pcc}$ ). En una segunda etapa (1602), las corrientes óptimas se calculan usando las ecuaciones 10 y 6 tras lo cual se calculan las pérdidas de línea usando las sumas de todas las pérdidas de cables (es decir  $R_{th}I_n^2$ ) en una etapa (1603) siguiente. En una etapa (1604) posterior, se calcula  $P_{th}$  sustrayendo la suma de las pérdidas de cable del  $P_{pcc}$  y entonces se compara, en una etapa (1605) siguiente, al valor anterior de  $P_{th}$  para determinar si es lo suficientemente preciso, si no, el método vuelve (1606) a la segunda etapa (1602).

Si el nuevo valor para la energía de Thévenin  $P_{th}$  es lo suficientemente preciso, entonces se usa para determinar las corrientes óptimas de manera más precisa en la etapa (1607) siguiente.

El vector de corriente que se requiere para suministrar la energía de entrada óptima determinada puede calcularse entonces usando métodos según realizaciones de la invención.

Se compararon entonces los resultados encontrados derivados del método de repetición con los resultados derivados del método de cálculo (ecuación 13) anterior. El ángulo en el que el inversor debe inyectar la corriente también se calculó fácilmente en ambas etapas de cálculo.

Los resultados anteriores muestran una correlación directa entre los métodos. Ambos tienen las mismas características de red y ambos emiten la misma mejor solución de energía de salida. Esto muestra que estos métodos pueden usarse por cualquier inversor para calcular el flujo de energía óptima. Los resultados muestran que, usando la energía calculada fuera, el método de compensación de corriente puede usarse y, de hecho, es cierto que se consigue la energía inyectada con la que se comenzó. El método requiere que las tensiones no varíen en el tiempo, y, por tanto, las corrientes están en fase con las tensiones de fuente. Dado que el inversor que inyecta la energía no conoce la fase de las tensiones, solamente puede inyectar energía en un cambio en fase alejado de la tensión en el inversor.

En conclusión, pueden usarse dos métodos para calcular la energía de salida cuando puede accederse a una cantidad de energía predeterminada en el lado de inversor. Para un inversor el método de cálculo sería más deseable ya que usará menos tiempo computacional, dado que estos valores necesitarían calcularse en un periodo de tiempo muy corto (uno o dos ciclos de forma de onda de tensión). El cambio de fase de las corrientes inyectadas se calcula fácilmente y se encuentra la inyección de energía óptima.

#### Simulación de compensación de corriente para una red habitual

El fin de esta sección es demostrar el método de compensación de corriente en una red habitual. Se simularon tres redes habituales.

En las secciones anteriores se ha mostrado que una red habitual puede representarse como una red equivalente de Thévenin sencilla. También se ha mostrado que, dentro de las capacidades de un inversor, los parámetros pueden calcularse en cualquier nodo en la red. Al conocer estos parámetros puede encontrarse el vector de corriente óptima, para conseguir la mayor energía a la fuente en el caso de inyección y la menor energía de la fuente cuando se toma la energía. El modelo no representa el flujo de carga completo de la red.

A partir de estos resultados puede concluirse que existe una correlación entre la energía óptima del modelo equivalente de Thévenin y un modelo de red habitual. Cuando se inyecta energía, la energía no necesariamente va al punto de consumo ya que también reduce las pérdidas de transmisión existentes antes de inyectar o extraer energía de la red. Este método proporciona una manera para que un inversor encuentre el vector de corriente que tiene la mayor influencia sobre la reducción de los requisitos de energía de red. En el caso de usar la misma corriente e inyectar corrientes en fase con las tensiones, esto no reducirá la energía necesaria por la red hasta el valor mínimo que puede lograrse cuando se inyecta o se extrae energía en un punto de consumo o generación de energía.

#### Conclusiones

Las secciones anteriores explican y demuestran, paso por paso, el método para inyectar o tomar energía de manera óptima para un inversor en cualquier nodo. Se muestra que, en redes habituales, aunque se diseñan para estar equilibradas, en la práctica, se encuentra que, generalmente, no lo están. Por tanto, en cualquier nodo cada uno de los cables tendrá unas características de tensión e impedancia diferentes y, por tanto, la energía en ese cable se

transferirá de manera diferente. También se mostró que puede encontrarse un modelo equivalente de Thévenin de 3 elementos sencillo de una red para cada nodo (o cable) correspondiente al que está conectado un convertor.

Se ha propuesto un método para calcular los parámetros de una red de Thévenin sencilla equivalente para cada uno de los cables a los que está conectado un convertor, por tanto, puede concluirse que puede encontrarse cualquier característica de red con múltiples  $m$  cables. Al usar un método publicado de manera reciente para un método de compensación de corriente para resistencia, tensión y energía conocidas, se ha demostrado que con una red habitual el método determina el vector de corriente que da lugar a un flujo de energía total, óptimo en pérdidas mínimas de transmisión.

También se mostró que, como la impedancia y los parámetros de Thévenin de cables de red pueden derivarse mediante este método u otros, no solamente puede calcularse la energía óptima en cada cable sino también la energía perdida y la energía que alcanzará el punto de destino deseado. En la mayoría de situaciones, el nodo es una carga y tomará, o consumirá energía. Dado que se ha mostrado que este método trabaja para inyectar y tomar energía, también puede aplicarse a este caso y puede encontrarse un método preciso de medición de la energía requerida para una carga, incluyendo pérdidas de línea óptimas asociadas.

Por tanto, se ha mostrado que es factible aplicar este método de inyección o extracción de corriente con el método de elemento de cálculo de resistencia en inversores para flujo de energía óptima en o fuera de una red.

La implicación de poder inyectar de manera óptima corrientes de manera dinámica en un sistema de múltiples cables para pérdidas de transmisión mínimas es de gran importancia a nivel internacional en la aplicación de redes de distribución inteligentes, así como muchas otras aplicaciones tales como el envío óptimo de energía, definiciones de medición e instrumentación de factores de energía, estabilidad de red, flujo de carga óptimo, etc.

El método y sistema descritos pueden usarse en las siguientes aplicaciones:

- Enviar fuentes de energía convencionales o renovables de manera más eficaz a una red.
- Recibir energía en un dispositivo de almacenamiento o en un punto de consumidor.
- Tomar decisiones basadas en información al seleccionar el mejor punto de generación o punto de almacenamiento. Por ejemplo, cuando el sistema de gestión de centro de control de una red puede elegir entre diversos puntos de almacenamiento o de envío posibles.
- Compensar el factor de energía en cualquier nodo de carga en la red usando energía reactiva mediante la redistribución de la corriente entre las fases. Esto también puede lograrse sin energía real.
- Medir y equipar incluyendo mejores definiciones de factor de energía y aplicaciones de tarifas novedosas.

La figura 17 ilustra un ejemplo de un dispositivo (1700) informático en el que pueden implementarse diversos aspectos de la divulgación. El dispositivo (1700) informático puede ser adecuado para almacenar y ejecutar un código de programa informático. Los diversos participantes y elementos en los diagramas de sistema descritos anteriormente pueden usar cualquier número adecuado de subsistemas o componentes del dispositivo (1700) informático para facilitar las funciones descritas en el presente documento.

El dispositivo (1700) informático puede incluir subsistemas o componentes interconectados por medio de una infraestructura (1705) de comunicación (por ejemplo, un bus de comunicaciones, un dispositivo de barra cruzado, o una red). El dispositivo (1700) informático puede incluir al menos un procesador (1710) central y al menos un componente de memoria en forma de medios legibles por ordenador. Los componentes de memoria pueden incluir memoria (1715) de sistema, que puede incluir una memoria de solo lectura (ROM) y una memoria de acceso aleatorio (RAM). Puede almacenarse un sistema de entrada/salida básico (BIOS) en la ROM. Un software de sistema puede almacenarse en la memoria (1715) de sistema incluyendo software de sistema operativo. Los componentes de memoria también pueden incluir una memoria (1720) secundaria. La memoria (1720) secundaria puede incluir un disco (1721) fijo, tal como un disco duro, y, opcionalmente, una o más interfaces (1722) de almacenamiento extraíbles para componentes (1723) de almacenamiento extraíbles.

El dispositivo (1700) informático puede incluir una interfaz (1730) de comunicaciones externa para el funcionamiento del dispositivo (1700) informático en un entorno de red que permite la transferencia de datos entre múltiples dispositivos (1700) informáticos. Los datos transferidos por medio de la interfaz (1730) de comunicaciones externa pueden ser en forma de señales, que pueden ser electrónicas, electromagnéticas, ópticas, de radio, u otros tipos de señal. La interfaz (1730) de comunicaciones externa puede permitir la comunicación de datos entre el dispositivo (1700) informático y otros dispositivos informáticos incluyendo servidores e instalaciones de almacenamiento externas.

Los medios legibles por ordenador en forma de los diversos componentes de memoria pueden proporcionar almacenamiento de instrucciones legibles por ordenador, estructuras de datos, módulos de programa, y otros datos.

5 Un producto de programa informático puede proporcionarse mediante un medio legible por ordenador que tiene un código de programa legible por ordenador almacenado que puede ejecutarse por el procesador (1710) central. Un producto de programa informático puede proporcionarse mediante un medio legible por ordenador no transitorio, o puede proporcionarse por medio de una señal u otro medio transitorio por medio de la interfaz (1730) de comunicaciones.

10 La interconexión por medio de la infraestructura (1705) de comunicación permite que un procesador (1710) central se comunique con cada subsistema o componente y controle la ejecución de las instrucciones desde los componentes de memoria, así como el intercambio de información entre subsistemas o componentes.

15 Dispositivos periféricos (tales como impresoras, escáneres, cámaras, o similares) y dispositivos de entrada/salida (I/O) (tales como un ratón, teclado táctil, teclado, micrófono, *joystick*, o similares) pueden acoplarse al dispositivo (1700) informático o bien de manera directa o por medio de un controlador (1735) de I/O. Estos componentes pueden estar conectados al dispositivo (1700) informático mediante cualquier número de medios conocidos en la técnica, tales como un puerto en serie. Uno o más monitores (1745) pueden estar acoplados por medio de un elemento de visualización o adaptador (1740) de vídeo al dispositivo (1700) informático.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Método para inyectar energía en o extraer energía de una red eléctrica en un punto de acoplamiento común (PCC) que tiene uno o más cables, que comprende:
  - 5 obtener (102) parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC;
  - 10 calcular (103) una energía de Thévenin total para todos los cables basándose en una cantidad de energía específica en el PCC y los parámetros de Thévenin obtenidos;
  - 15 caracterizado porque el método incluye calcular (104) una corriente óptima que va a inyectarse en o a extraerse del PCC para la inyección o extracción de una cantidad de energía específica, en el que el cálculo se realiza basándose en la energía de Thévenin total y los parámetros de Thévenin, que incluyen:
    - 20 cambiar las tensiones de Thévenin para cables en un punto de referencia nulo ponderado de resistencia a un vector de tensión equivalente de Thévenin ponderado que depende de las resistencias equivalentes de Thévenin;
    - 25 calcular una energía de cable total de Thévenin óptima en la tensión equivalente de puntos de Thévenin;
    - 30 calcular una constante  $k_A$  con la energía de cable total de Thévenin calculada dividida entre la norma al cuadrado del vector de tensión equivalente de Thévenin ponderado; y
    - 35 calcular un vector de corriente ponderado multiplicando la constante  $k_A$  por el vector de tensión de Thévenin ponderado; y
    - 40 controlar (105) una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima.
2. Método según la reivindicación 1, en el que obtener (102) parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC, incluye:
  - 35 medir una tensión en el PCC sin inyección de corriente para obtener una tensión de Thévenin; e
  - 40 inyectar una corriente conocida y medir cambios de tensión para calcular una resistencia de Thévenin.
3. Método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que controlar (105) una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima incluye:
  - 45 controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas en cada cable usando un convertor o inversor conectado en serie.
4. Método según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que controlar (105) una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima incluye:
  - 50 controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas en cada cable usando un convertor o inversor conectado en derivación, que incluye:
    - 55 medir una corriente de carga o fuente en cada cable en el PCC;
    - 60 calcular una diferencia entre la corriente medida y una corriente óptima calculada; e
    - inyectar o extraer la diferencia de corriente usando el convertor o inversor conectado en derivación.
5. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye repetir el método:
  - inyectando o extrayendo una primera corriente óptima calculada;

- reobteniendo (106) los parámetros de Thévenin; y
- 5 calculando una segunda corriente óptima calculada basándose en los parámetros de Thévenin reobtenidos.
6. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que controlar (105) una inyección o extracción de corriente inyecta una corriente en fase con la tensión de Thévenin de tal manera que reduce pérdidas de transmisión eléctrica de la red eléctrica.
- 10 7. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los parámetros de Thévenin incluyen una reactancia de Thévenin que se usa para calcular un ángulo de fase de la corriente óptima.
- 15 8. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye calcular una tensión de Thévenin medida desde un punto de referencia nulo ponderado de resistencia midiendo una tensión de un cable en cualquier punto de referencia cuando no se inyecta corriente.
- 20 9. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, en el que las tensiones medidas son tensiones de frecuencia fundamentales y se calculan con respecto a un punto de referencia nulo ponderado de resistencia que depende de la resistencia equivalente de cable de Thévenin.
- 25 10. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye:  
 calcular una energía de Thévenin adicional óptima que puede alcanzar un punto de consumo equivalente de red cuando se inyecta o se extrae una cantidad de energía específica en un punto de acoplamiento común después de haber determinado los parámetros de Thévenin.
- 30 11. Método según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que incluye:  
 calcular la energía de cable total de Thévenin mediante un método repetitivo que incluye:  
 calcular corrientes de cable óptimas;  
 35 determinar pérdidas de energía totales para cada uno de los cables;  
 sustraer las pérdidas de cable totales basándose en una cantidad de energía específica en el punto de acoplamiento común: y  
 40 repetir el método hasta que la energía de Thévenin converge a una precisión suficiente.
- 45 12. Sistema para inyectar energía en o extraer energía de una red eléctrica en un punto de acoplamiento común (PCC) que tiene uno o más cables, que comprende:  
 una componente (302) de parámetro de Thévenin para obtener parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC;  
 50 una componente (307) de energía de Thévenin para calcular una energía de Thévenin total para todos los cables basándose en una cantidad de energía específica en el PCC y los parámetros de Thévenin obtenidos;  
 caracterizado porque el sistema incluye una componente (309) de corriente óptima para calcular una corriente óptima que va a inyectarse en o a extraerse del PCC para la inyección o extracción de una cantidad de energía específica, basándose en la energía de Thévenin total y los parámetros de Thévenin, en el que la componente (309) de corriente óptima está configurada para llevar a cabo las etapas de:  
 55 cambiar las tensiones de Thévenin para cables en un punto de referencia nulo ponderado de resistencia a un vector de tensión equivalente de Thévenin ponderado que depende de las resistencias equivalentes de Thévenin;  
 60 calcular una energía de cable total de Thévenin óptima en los puntos de tensión equivalentes de Thévenin;

- calcular una constante  $k_A$  con la energía de cable total de Thévenin calculada dividida entre la norma al cuadrado del vector de tensión equivalente de Thévenin ponderado; y
- 5                    calcular un vector de corriente ponderado multiplicando la constante  $k_A$  por el vector de tensión de Thévenin ponderado; y
- una componente (310) de control para controlar una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima.
- 10
13.                Sistema según la reivindicación 12, en el que la componente (302) de parámetro de Thévenin para obtener parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC incluye;
- 15                    una componente (303) de medición de tensión para medir una tensión en el PCC sin inyección de corriente para obtener una tensión de Thévenin; y
- una componente (304) de inyección de corriente conocida para inyectar una corriente conocida y la componente (303) de medición de tensión también para medir cambios de tensión para calcular una resistencia de Thévenin.
- 20
14.                Sistema según la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en el que la componente (310) de control para controlar una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima incluye:
- 25                    un convertor (1203) o inversor conectado en serie para controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas requeridas en cada cable.
15.                Sistema según la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en el que la componente (310) de control para controlar una inyección o extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima incluye:
- 30                    un convertor (1305) o inversor conectado en derivación para controlar una inyección o extracción de las corrientes óptimas requeridas en cada cable, que incluye componentes para:
- 35                    medir una corriente de carga o fuente en cada cable en el PCC;
- calcular una diferencia entre la corriente medida y una corriente óptima calculada; e
- inyectar o extraer la diferencia de corriente usando el convertor o inversor conectado en derivación (1305).
- 40
16.                Sistema según se reivindicó en una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, que incluye una componente (312) de repetición para repetir el método:
- 45                    inyectando o extrayendo una primera corriente óptima calculada;
- reobteniendo los parámetros de Thévenin; y
- calculando una segunda corriente óptima calculada basándose en los parámetros de Thévenin reobtenidos.
- 50
17.                Producto de programa informático para inyectar energía en o extraer energía de una red eléctrica en un punto de acoplamiento común (PCC) a la red eléctrica, en el que el PCC tiene uno o más cables, comprendiendo el producto de programa informático un medio legible por ordenador que tiene un código de programa legible por ordenador almacenado para realizar las etapas de:
- 55                    obtener (102) parámetros de Thévenin en forma de al menos una tensión de Thévenin y una resistencia de Thévenin de un circuito de Thévenin equivalente con respecto a cada cable del PCC;
- 60                    calcular (103) una energía de Thévenin total para todos los cables basándose en una cantidad de energía específica en el PCC y los parámetros de Thévenin obtenidos;
- caracterizado porque las etapas incluyen calcular (104) una corriente óptima que va a inyectarse en o a extraerse del PCC para la inyección o extracción de una cantidad de energía específica, en

## ES 2 701 821 T3

el que el cálculo se realiza basándose en la energía de Thévenin total y los parámetros de Thévenin, que incluyen:

5                    cambiar las tensiones de Thévenin para cables en un punto de referencia nulo ponderado de resistencia a un vector de tensión equivalente de Thévenin ponderado que depende de las resistencias equivalentes de Thévenin;

10                  calcular una energía de cable total de Thévenin óptima en los puntos de tensión de Thévenin equivalentes;

                    calcular una constante  $k_A$  con la energía de cable total de Thévenin calculada dividida entre la norma al cuadrado del vector de tensión equivalente de Thévenin ponderado; y

15                  calcular un vector de corriente ponderado multiplicando la constante  $k_A$  por el vector de tensión de Thévenin ponderado; y

controlar (105) una inyección o una extracción de corriente en el PCC según la corriente óptima.

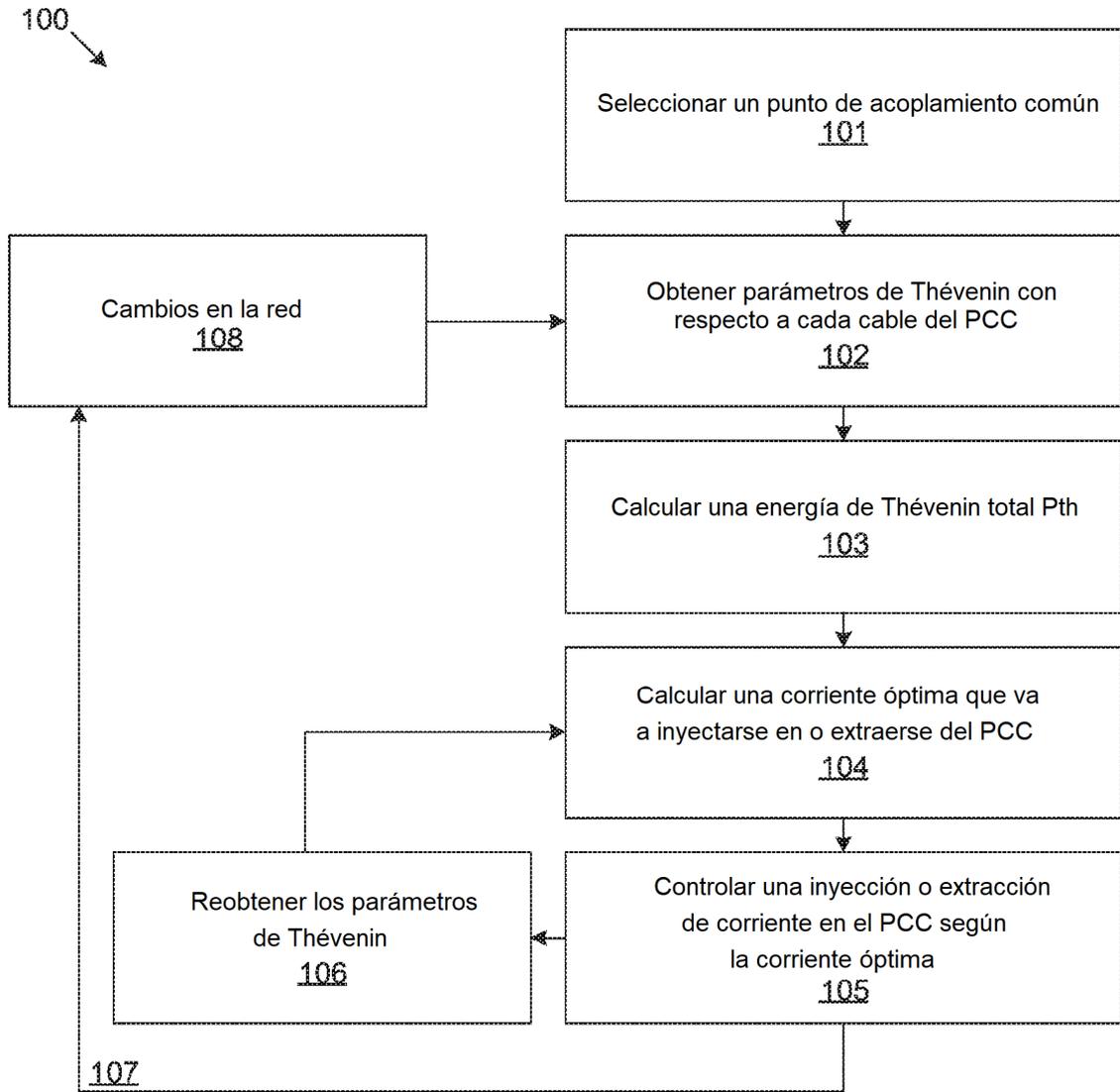


FIGURA 1

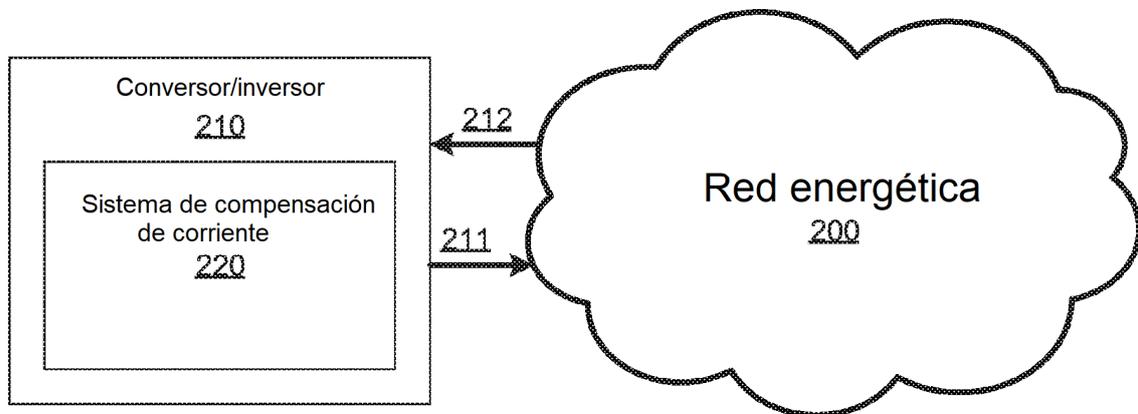


FIGURA 2

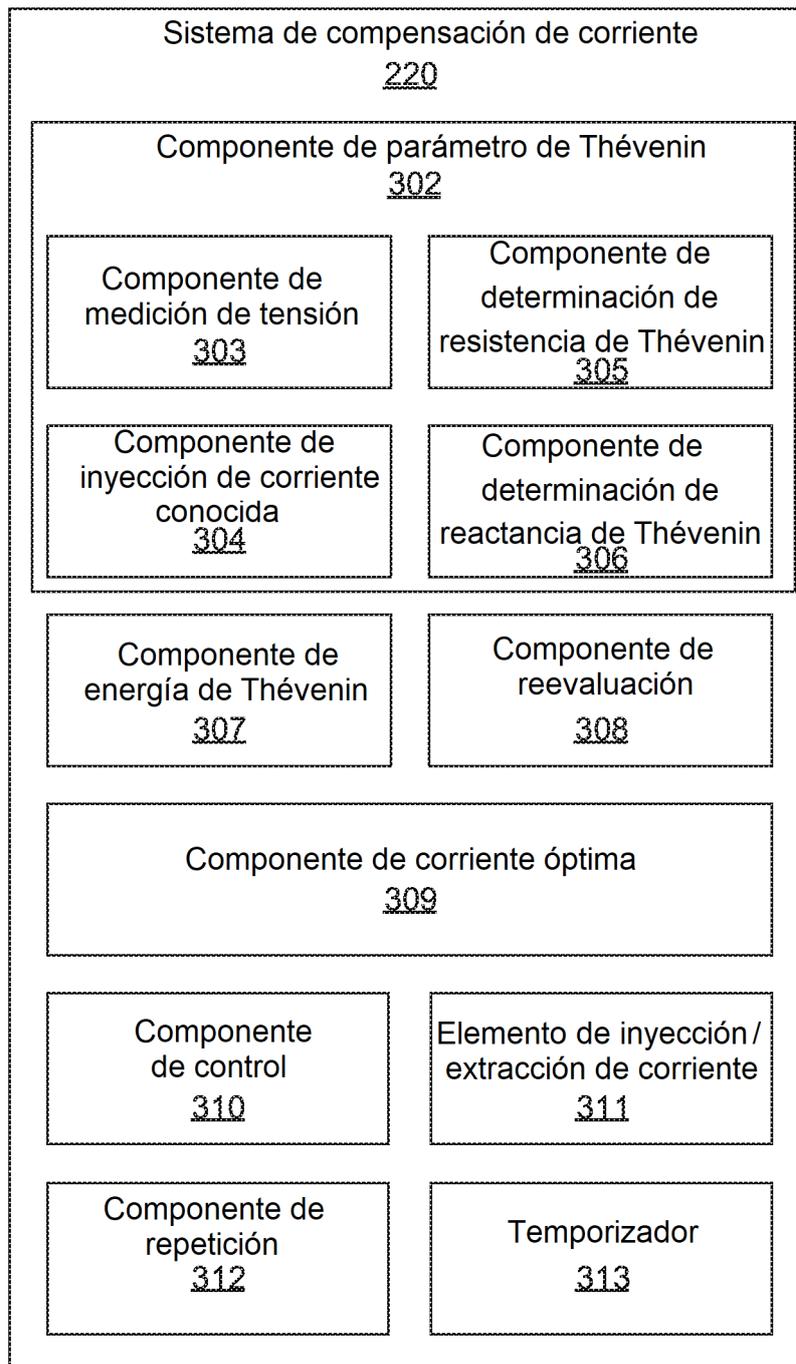


Figura 3

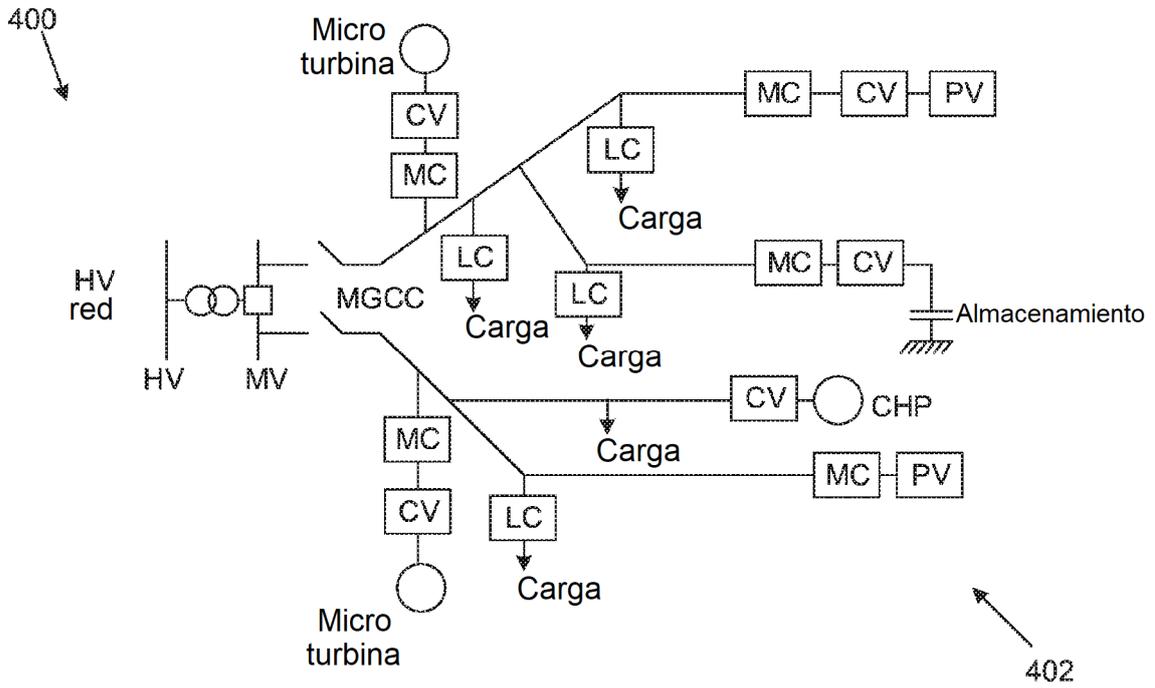


Figura 4

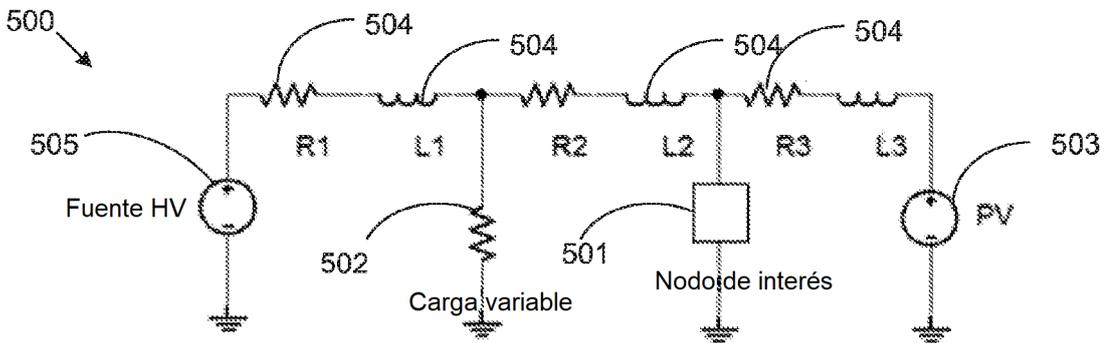


Figura 5

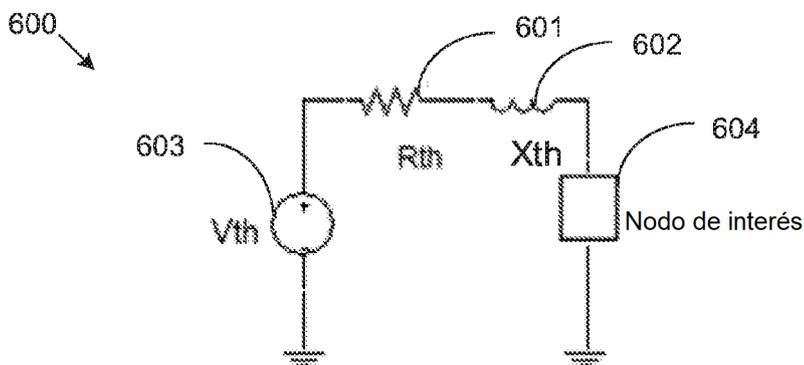


Figura 6

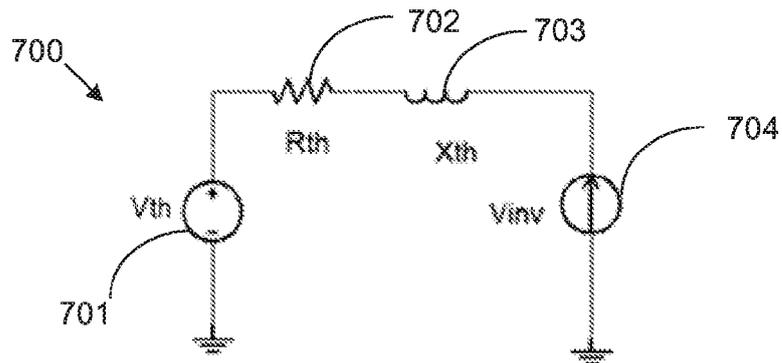


Figura 7

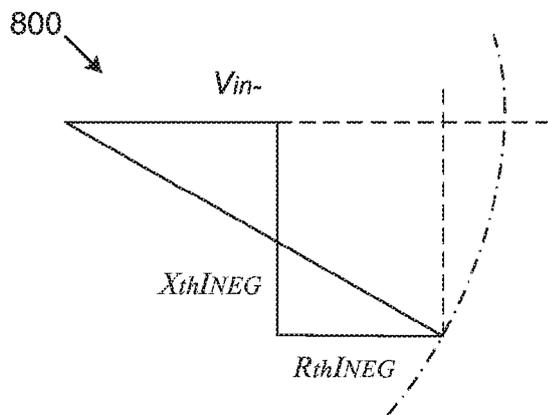


Figura 8A

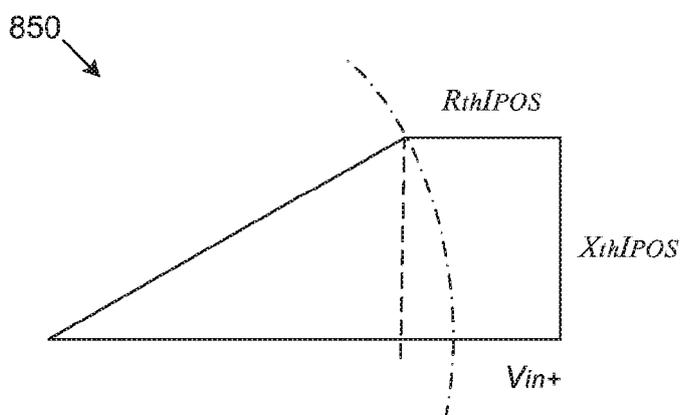


Figura 8B

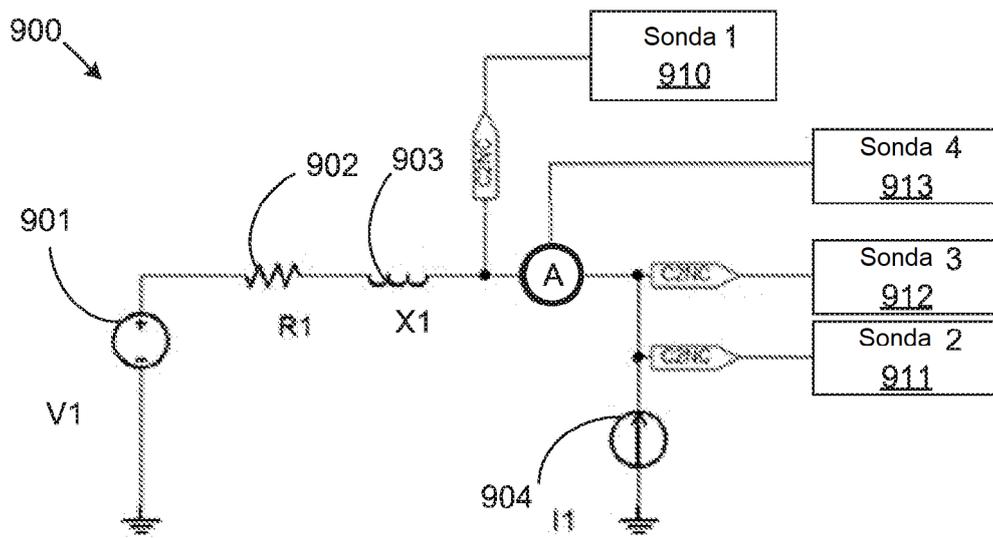


Figura 9

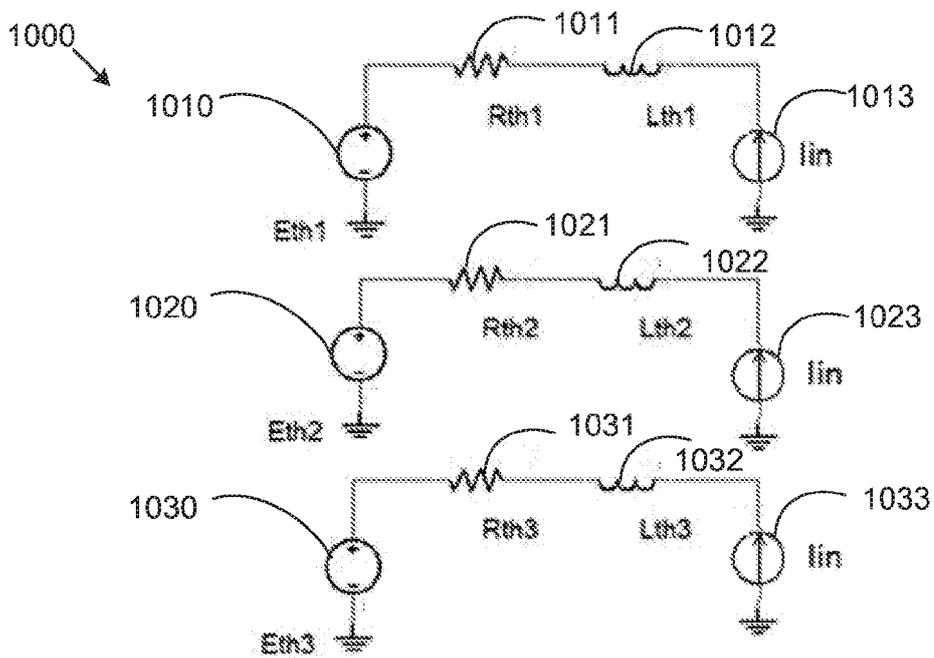


Figura 10

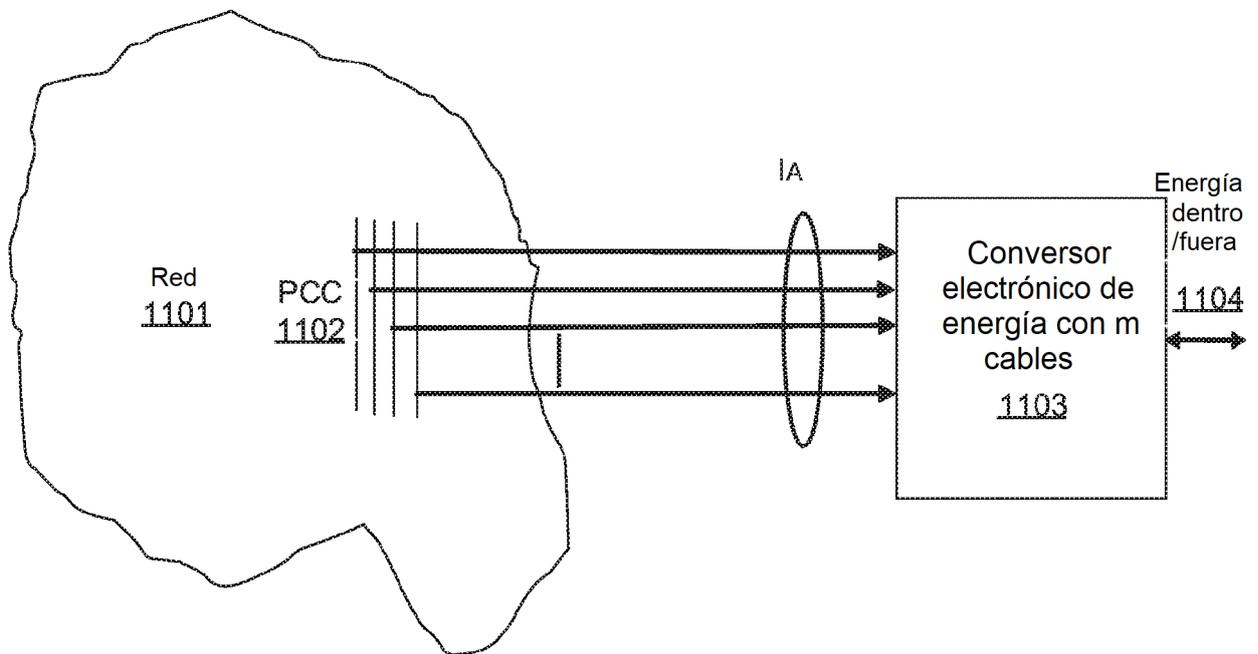


Figura 11

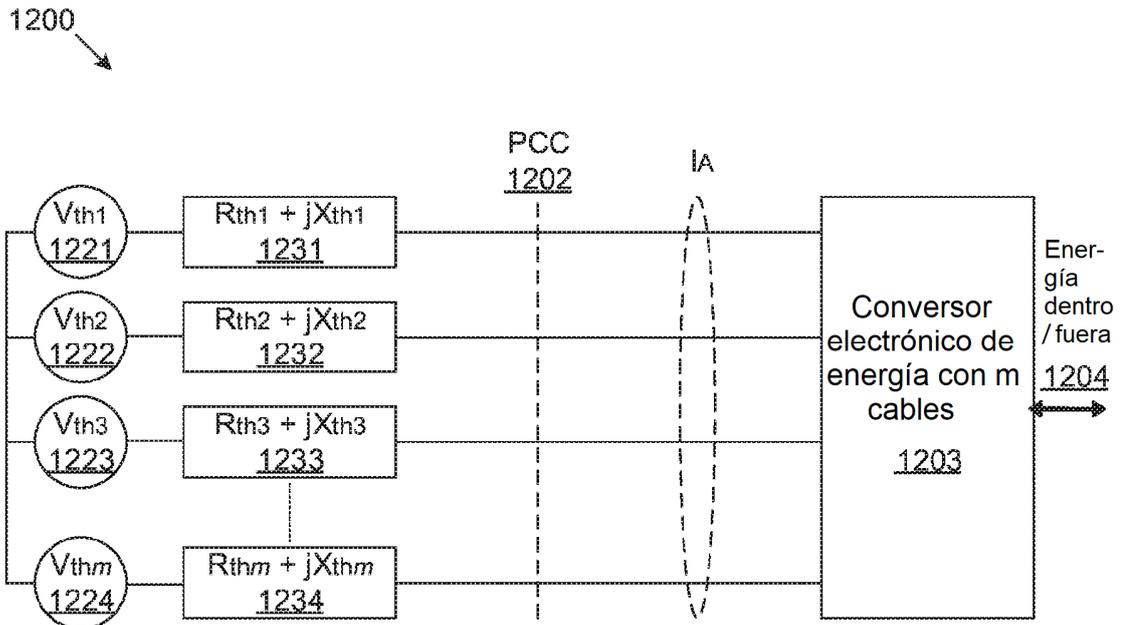


Figura 12

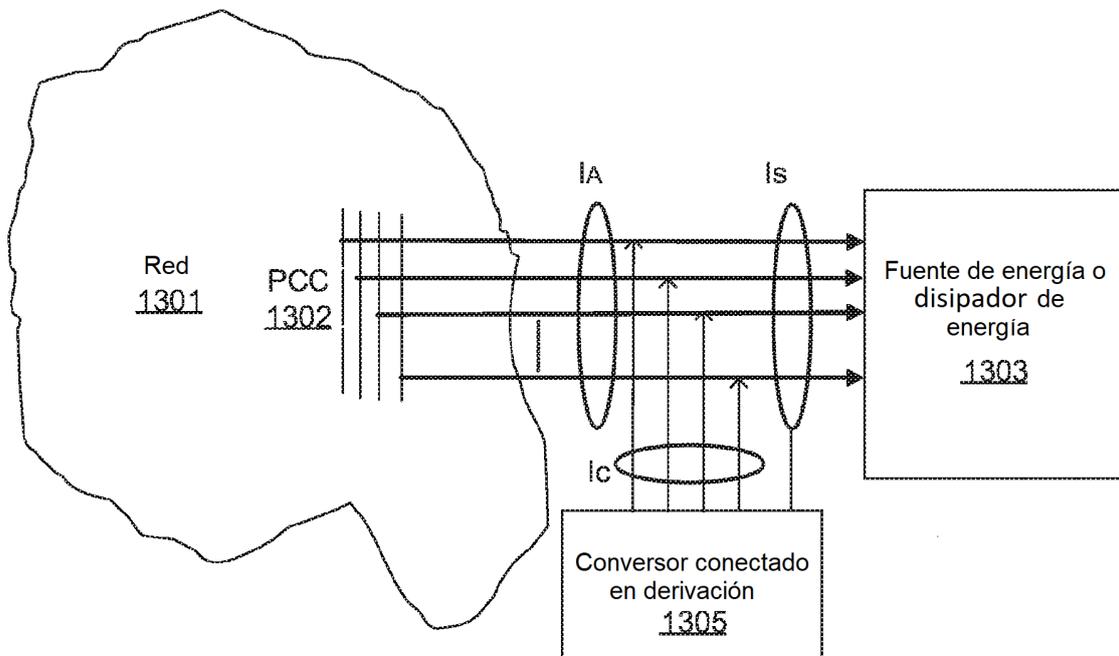


Figura 13

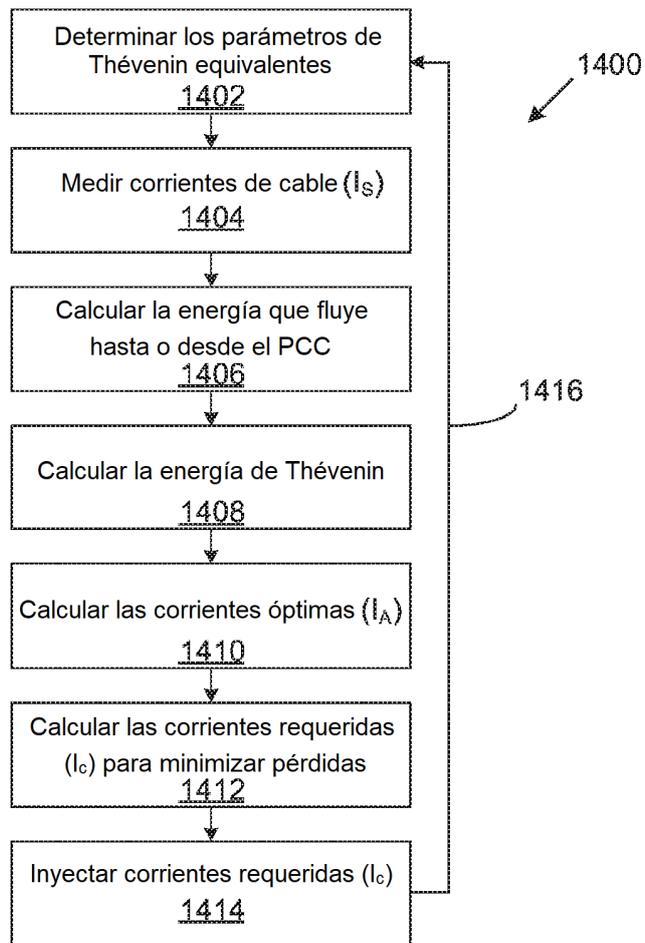


Figura 14

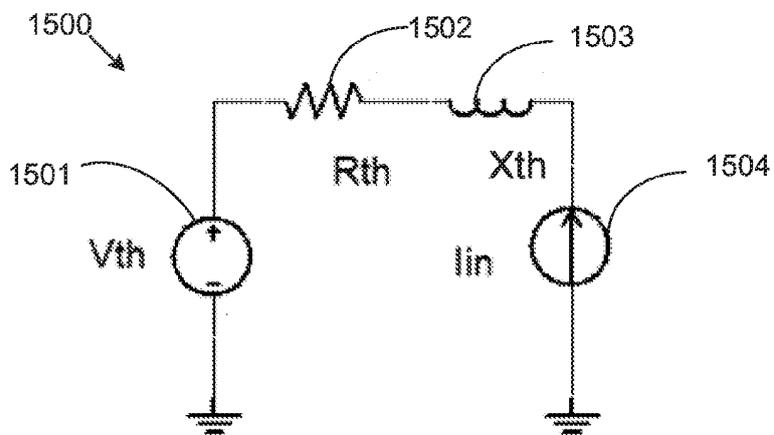


Figura 15

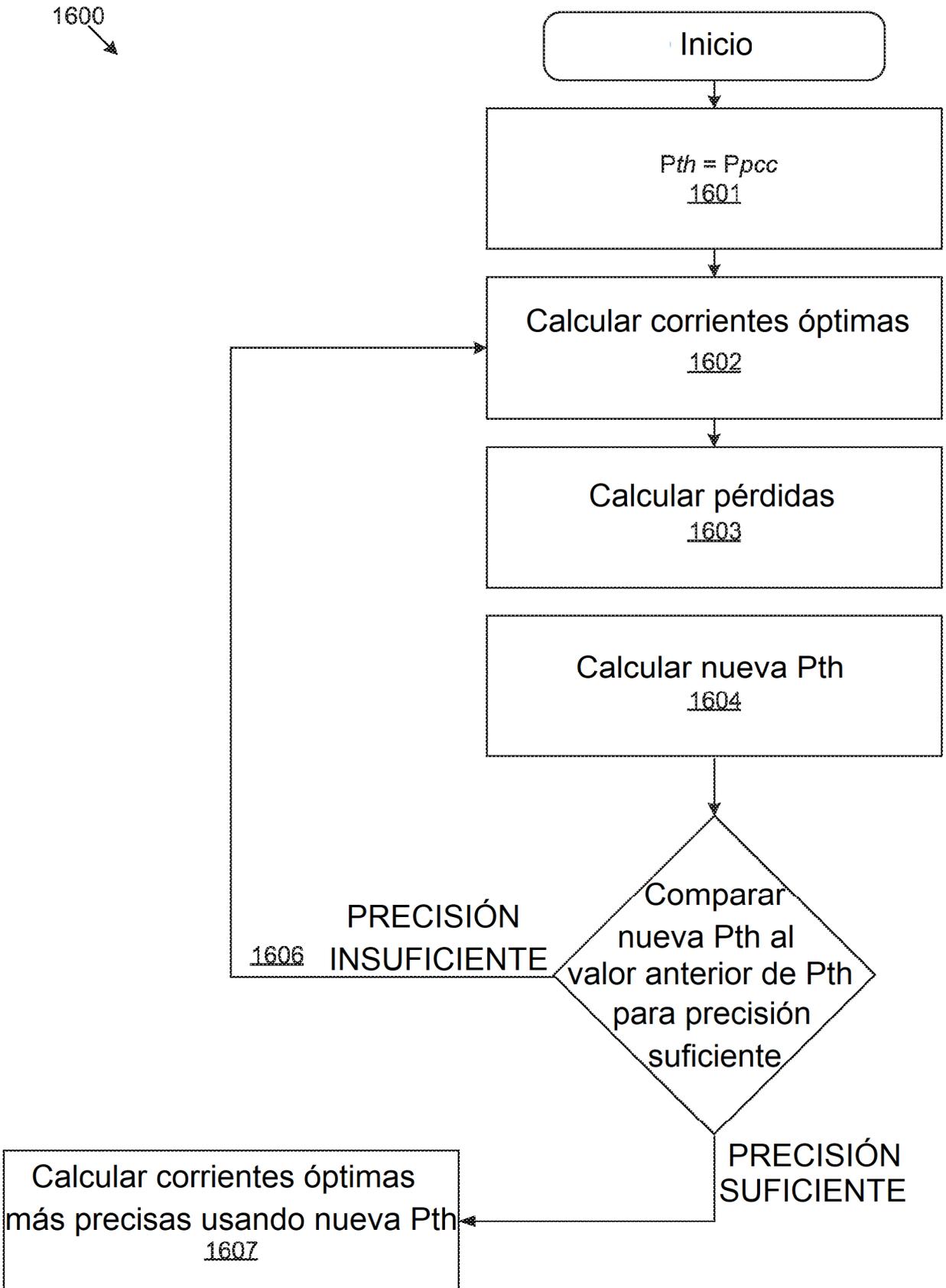


Figura 16

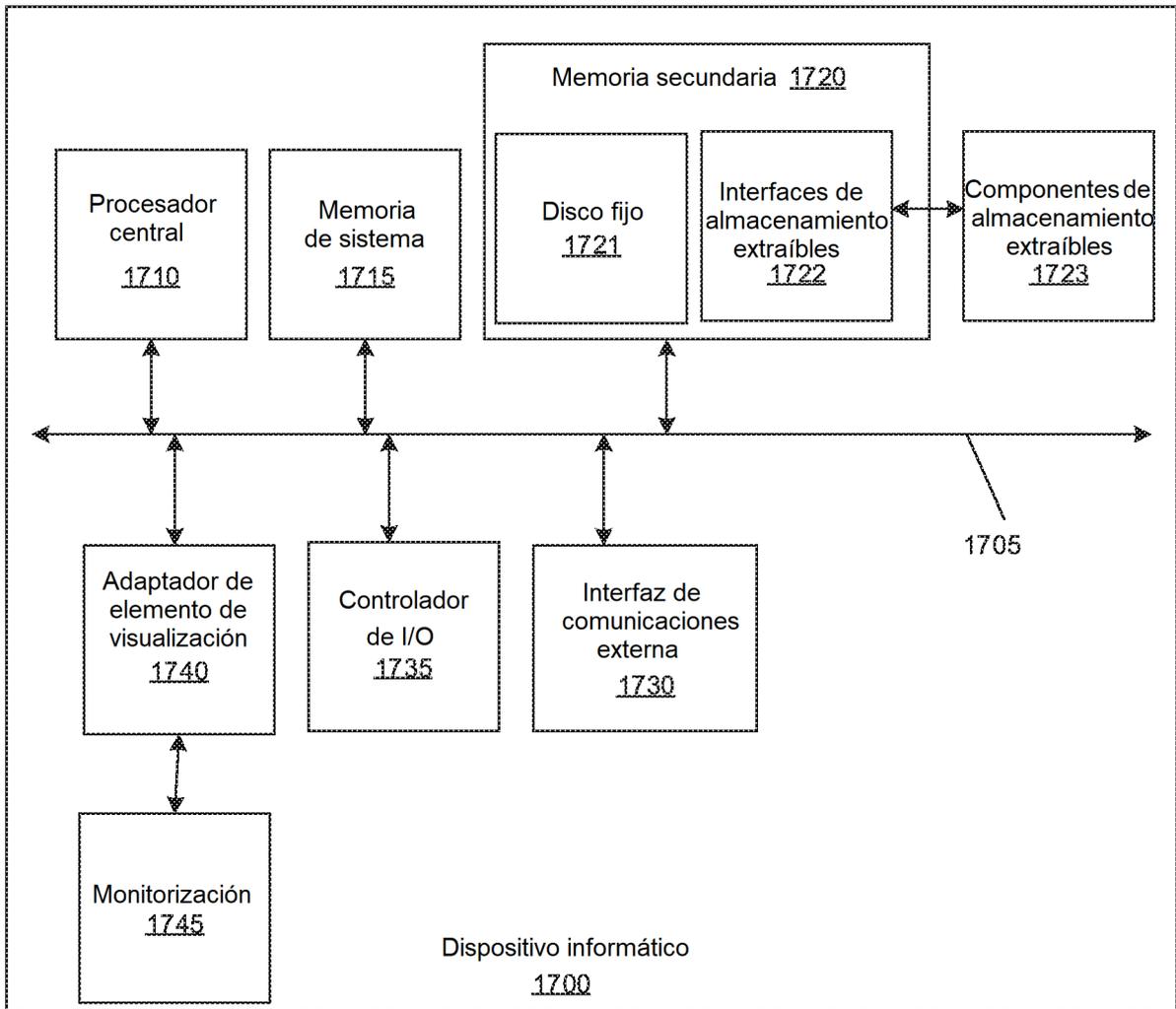


Figura 17