

MONITOREO DE LA ESTABILIDAD DE LA TENSIÓN DE UN CORREDOR DE TRANSMISIÓN

APLICACIONES RELACIONADAS

La presente solicitud reivindica el beneficio de la continuación en parte de la solicitud de patente 14/281.336, radicada el 19 de mayo de 2014, cuya revelación se incorpora al presente documento en su integridad mediante referencia.

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere generalmente al monitoreo de la estabilidad de la tensión de un corredor de transmisión a través del cual fluye la electricidad entre las diferentes partes de un sistema eléctrico y, en particular, se refiere a la computación de un índice que indica dicha estabilidad de la tensión.

ANTECEDENTES

Un sistema eléctrico genera energía eléctrica en una parte del sistema y transmite esa energía a través de un corredor de transmisión para que sea usada por otra parte del sistema. El corredor de transmisión se considera estable en términos de tensión si el corredor mantiene tensiones constantes aceptables no solo en condiciones normales de funcionamiento, sino también después de una perturbación del sistema (p.ej., una interrupción del fluido eléctrico). Por eso, un corredor de tensión estable recupera las tensiones aceptables después de una perturbación, en lugar disminuirlas de forma oscilante o monótona incluso en respuesta a un intento de accionar los mecanismos de restauración del voltaje.

La inestabilidad de la tensión del corredor de transmisión provoca apagones y por ello acarrea enormes costos económicos y sociales. Los abordajes conocidos de prevención de los apagones monitorean la proximidad de la inestabilidad de la tensión del corredor en tiempo real y adoptan las medidas adecuadas de protección y control necesarias para mitigar la degradación del sistema o la propagación de la perturbación. Por ejemplo, dichas medidas pueden incluir la desconexión de carga.

Muchos de estos abordajes conocidos explotan la relación de la inestabilidad de la tensión del corredor a la capacidad de carga máxima del sistema eléctrico. En particular, los enfoques que identifican la inestabilidad de la tensión del corredor como fuertemente relacionada con la incapacidad de las partes combinadas generadora y transmisora del sistema para proporcionar la energía requerida por la parte receptora (es decir, la carga) del sistema. Por ello, los abordajes emplean un criterio de inestabilidad de la tensión expresado directa o indirectamente en términos de la máxima entrega de potencia del sistema, que se alcanza cuando la magnitud de la impedancia equivalente de Thevenin de las partes combinadas de generación y transmisión del sistema es igual a la magnitud de la impedancia equivalente de carga de la parte receptora de la energía: $|\bar{Z}_{th}| = |\bar{Z}_l|$

Por lo menos algunos de estos enfoques estiman la impedancia equivalente de Thevenin de las partes combinadas de generación y transmisión del sistema en etapas.

Tales enfoques de varias etapas involucran la estimación del equivalente de Thevenin de la parte que genera la energía. Algunas técnicas conocidas para “estimar” el equivalente de Thevenin de la parte generadora de energía simplemente asumen ya sea que el voltaje equivalente de Thevenin o la impedancia de la parte generadora de energía son conocidos. Véase la patente estadounidense No. 7.200.500 B2, de abril de 2007, la cual se incorpora a la presente en su integridad mediante referencia. Otras técnicas realmente identifican (es decir, rastrean) el equivalente de Thevenin de la parte generadora de energía en aras de la precisión, es decir, sin hacer la suposición que se mencionó arriba. Una de esas técnicas de rastreo se realiza por el método de los mínimos cuadrados recursivos usando mediciones de fasor de voltaje y fasor de corriente, tomadas en una interfaz entre la parte generadora de energía y el corredor de transmisión. Véase la patente estadounidense No. 6.219.591 B1, la cual se incorpora a la presente en su integridad mediante referencia. Para evitar los retrasos asociados con la técnica de los mínimos cuadrados recursivos, una técnica de rastreo alternativa actualiza por separado el equivalente de Thevenin del voltaje y la impedancia de la parte generadora de energía. S. Corsi y G. N. Taranto, “A real-time voltage instability identification algorithm based on local phasor measurements”, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, No. 3, pp. 1271-1279, agosto de 2008.

RESUMEN

Una o más modalidades aquí contempladas rastrean el equivalente de Thevenin de la parte generadora de energía de un sistema eléctrico con una precisión mejorada en comparación con las técnicas de rastreo conocidas. Esta precisión mejorada de forma provechosa previene o por lo menos mitiga las falsas alarmas en términos de la detección prematura de la inestabilidad de la tensión en el corredor de transmisión.

Más particularmente, las presentes modalidades incluyen un método de monitoreo de la estabilidad de la tensión de un corredor de transmisión a través del cual fluye la energía entre las diferentes partes de un sistema eléctrico. El método se realiza mediante un aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión. El método incluye el monitoreo de una impedancia equivalente de carga en una interfaz entre el corredor de transmisión y una parte del sistema eléctrico designada como generadora de energía. La impedancia equivalente de carga en esta interfaz de “la parte generadora de energía” comprende una proporción entre un fasor de voltaje en la interfaz y un fasor de corriente en la interfaz.

El método incluye además rastrear el voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin de la parte designada mediante la actualización de por separado de ese voltaje y esa impedancia. La actualización del voltaje equivalente de Thevenin en este sentido comprende actualizar el voltaje para reflejar la magnitud de cualquier cambio en el fasor de voltaje asociado con grandes variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la interfaz de la parte generadora de energía. Esas grandes variaciones incluyen variaciones mayores que una variación definida por umbral.

El método finalmente incluye computar un índice que indica la estabilidad de la tensión como una función del rastreo del voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin.

Por lo menos en algunas modalidades la actualización del voltaje equivalente de Thevenin incluye, para cada uno de una pluralidad de tiempos de medición del fasor, determinar si una variación de la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la interfaz de la parte generadora de energía desde un tiempo previo de medición del fasor es mayor que la variación definida por el umbral o no. Si es así, el método comprende ajustar el voltaje equivalente de Thevenin computado para el tiempo previo de medición del fasor por la magnitud del cambio en el fasor de voltaje desde ese tiempo previo de medición del fasor.

El voltaje equivalente de Thevenin en algunas modalidades también se actualiza en respuesta a pequeñas variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la interfaz de la parte generadora de energía. Específicamente, el voltaje equivalente de Thevenin es disminuido o aumentado en un porcentaje de cambio predefinido cuando esas pequeñas variaciones tienen o no la misma polaridad que las variaciones de la impedancia equivalente de Thevenin, respectivamente. Esas pequeñas variaciones incluyen aquellas menores que la definida por el umbral.

En algunas modalidades, la actualización del voltaje equivalente de Thevenin comprende la actualización del valor complejo del voltaje equivalente de Thevenin en coordenadas rectangulares. Como alternativa o adicionalmente, el método incluye ajustar dinámicamente un umbral que define la variación definida por el umbral, como una función del voltaje equivalente de Thevenin.

Además, en una o más modalidades, la actualización de la impedancia equivalente de Thevenin comprende resolver un sistema de dos ecuaciones lineales con dos variables desconocidas. Estas dos variables desconocidas comprenden las partes real e imaginaria de la impedancia equivalente de Thevenin. Las variables conocidas del sistema de dos ecuaciones lineales incluyen las partes real e imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin, actualizado para reflejar la magnitud de los cambios en el fasor de voltaje en la interfaz de la parte generadora de energía.

Aún más, el método en algunas modalidades implica adaptar dinámicamente cuál parte del sistema eléctrico se designa como generadora de energía. Esa adaptación dinámica se realiza en respuesta a la detección de un cambio en la dirección o la magnitud de la energía que fluye a través de una o las dos interfaces entre el corredor de transmisión y las partes del sistema eléctrico.

Por último, en una o más modalidades, el método involucra monitorear si un interruptor de carga para cada línea asociada con la interfaz de la parte generadora de energía está abierto o cerrado. En este caso, el monitoreo de la impedancia equivalente de carga en esa interfaz comprende computar dinámicamente la impedancia equivalente de carga en la interfaz exclusivamente a partir de las mediciones de fasor tomadas en líneas cuyos interruptores de carga están cerrados. En algunas de estas modalidades, en respuesta a la detección de la apertura o el cierre de uno o más de estos interruptores de carga, el método involucra actualizar el voltaje equivalente de Thevenin para reflejar la

magnitud del cambio resultante en el fasor de voltaje, computada dinámicamente, sin reinicializar el voltaje equivalente de Thevenin.

Las modalidades presentes incluyen además un aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión configurado para realizar el método descrito anteriormente.

Por supuesto, la presente invención no se limita a las anteriores características y ventajas. De hecho, la persona medianamente versada en la materia técnica correspondiente reconocerá las ventajas y características adicionales tras la lectura de la siguiente descripción detallada, y la observación de los dibujos que la acompañan.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema eléctrico y un aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de acuerdo con una o más modalidades.

La Figura 2 es un diagrama de flujo lógico de un método realizado por un aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de acuerdo con una o más modalidades.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un modelo de circuitos del sistema eléctrico de acuerdo con una o más modalidades.

La Figura 4 es un diagrama de flujo de la lógica de un proceso para rastrear la impedancia equivalente de carga en la interfaz de la parte generadora de energía y para actualizar el voltaje equivalente de Thevenin en esa interfaz, de acuerdo con una o más modalidades.

La Figura 5 es un diagrama esquemático de un modelo de circuitos de un sistema eléctrico que ilustra la impedancia equivalente de carga en la interfaz de la parte generadora de energía, de acuerdo con una o más modalidades.

La Figura 6 es un diagrama esquemático de un modelo de circuitos de un sistema eléctrico que ilustra el modelado del corredor de transmisión como un circuito T-equivalente, de acuerdo con una o más modalidades.

La Figura 7 es un diagrama esquemático de un modelo de circuitos de un sistema eléctrico que ilustra el modelado de las partes combinadas de generación-transmisión del sistema eléctrico como un circuito equivalente de Thevenin, de acuerdo con una o más modalidades.

La Figura 8 muestra un ejemplo de corredor de transmisión para tomar en cuenta los cambios estructurales dentro del corredor, de acuerdo con una o más modalidades.

La Figura 9 muestra escenarios ejemplares de la adaptación dinámica de cuál parte del sistema eléctrico está designada como la parte generadora de energía en función de la potencia activa agregada, de acuerdo con una o más modalidades.

La Figura 10A muestra un ejemplo de corredor.

Las Figuras 10B-C ilustran las ventajas cuantitativas de tomar en cuenta los cambios estructurales dentro del corredor ejemplar de la Figura 10A, de acuerdo con una o más modalidades, en donde la Figura 10B ilustra estas ventajas en términos de una proporción de la impedancia y la Figura 10C ilustra las ventajas en términos de margen de potencia reactiva.

La Figura 11A ilustra otro ejemplo de corredor.

Las Figuras 11 B-C ilustran las ventajas cuantitativas de la adaptación dinámica de cuál parte del corredor ejemplar de la Figura 11 es designada como la parte generadora de energía, de acuerdo con una o más modalidades, en donde la Figura 11B ilustra estas ventajas en términos de una proporción de la impedancia y la Figura 11C ilustra las ventajas en términos del margen de potencia reactiva.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La Figura 1 ilustra un sistema eléctrico 2 de acuerdo con una o más modalidades. El sistema eléctrico 2 genera energía eléctrica en una parte del sistema 2 y transmite esa energía a través de una o más líneas de transmisión 4 para que sea usada por otra parte del sistema 2. Como se muestra, por ejemplo, cada una de las partes A, B y C del sistema eléctrico 2 se caracteriza por cierto grado de generación de energía (G) y carga (L). Pero en el agregado la energía fluye en una dirección que va de la parte A hacia la parte B a través de una o más líneas de transmisión 4. Sin embargo, cualquiera que sea la dirección real del flujo de energía, esa caracterización del sistema eléctrico 2 en diferentes partes significa efectivamente que diferentes cortes de transferencia A y B definen un corredor de transmisión (virtual) 6 entre esas partes.

El corredor de transmisión 6 está compuesto por una o más líneas de transmisión físicas 4 a través de las cuales fluye la energía entre los componentes del sistema eléctrico. La Figura 1 muestra estas líneas de transmisión 4 en interfaz con las partes A y B del sistema eléctrico 2 en los buses físicos A1-A2 y B1-B3. Esto significa que el corredor 6 hace interfaz con las partes A y B en las interfaces del Int_A e Int_B . Como se puede ver, la interfaz Int_A es un bus virtual que comprende un grupo de buses físicos A1-A2. Asimismo, la interfaz Int_B mostrada es un bus virtual que comprende un grupo de buses físicos B1-B3.

El corredor de transmisión 6 se considera estable en términos de voltaje si el corredor 6 mantiene voltajes constantes aceptables no solo en condiciones normales de funcionamiento, sino también después de una perturbación del sistema 2 (p.ej., una interrupción de línea). Un corredor de voltaje estable, por tanto, recupera los voltajes aceptables después de una perturbación, en lugar disminuirlos de forma oscilante o monótona incluso en respuesta a los intentos de accionar los mecanismos de restauración de la tensión.

Un aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión 8 está configurado para monitorear la estabilidad de la tensión del corredor de transmisión 6, con el fin de detectar en tiempo real la proximidad del corredor 6 a la inestabilidad de la tensión. El aparato 8 en este sentido comprende uno o más circuitos de interfaz de comunicación 10 configurados para acoplar de forma comunicativa el aparato 8 a una pluralidad de unidades de medición de fasores sincronizadas en el tiempo (UMF) 12 desplegadas en ambos extremos del corredor 6. Cualquier UMF 8 desplegada en una interfaz entre el corredor 6 y una parte del sistema 2 mide un fasor de voltaje y/o un fasor de corriente localmente en esa interfaz, y comunica esas mediciones de fasores al aparato 8 (p.ej., a una velocidad de 10-120 muestras por

segundo). Por ejemplo, las UMF 12 desplegadas en la Int_A miden los fasores de voltaje y los fasores de corriente en las líneas de transmisión 4 asociadas a los buses físicos A1-A2.

El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión 8 también comprende uno o más circuitos de procesamiento 14 configurados para utilizar las mediciones de fasores recibidas para computar un índice que indica la estabilidad de la tensión del corredor. Uno o más circuitos de procesamiento 14 hacen eso de acuerdo con el procesamiento 100 que se ilustra en la Figura 2.

Como se muestra en la Figura 2, el procesamiento 100 por parte de uno o más circuitos de procesamiento 14 incluye el monitoreo de una impedancia equivalente de carga en una interfaz Int_g entre el corredor de transmisión 6 y una parte del sistema eléctrico designada como generadora de energía (p.ej., Int_A en la Figura 1) (Bloque 110). Esta interfaz Int_g también se conoce aquí como la “interfaz de la parte generadora de energía” para mayor comodidad. La impedancia equivalente de carga en esta interfaz Int_g comprende una proporción de un fasor de voltaje en la interfaz Int_g a un fasor de corriente en la interfaz Int_g . Por lo menos en algunas modalidades, estos el fasores de voltaje y de corriente en la interfaz Int_g se computan a partir de las mediciones de los fasores de voltaje y de corriente recibidas de una o más UMF 12 desplegadas en uno o más buses físicos que colectivamente forman esa interfaz Int_g .

Independientemente, la impedancia equivalente de carga en la interfaz Int_g tal como se utiliza en este contexto caracteriza la carga “vista” por la interfaz Int_g y, por tanto, caracteriza tanto el corredor de transmisión 6 como a la parte receptora de energía del sistema 2.

El procesamiento 100 por parte de uno o más circuitos de procesamiento 14 incluye además un rastreo del voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin de la parte designada como generadora de energía, mediante la actualización por separado de esos voltaje e impedancia (Bloque 120). Tal como se utiliza en este contexto, la actualización separada del voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin significa actualizar el voltaje equivalente de Thevenin por separado de la actualización de la impedancia equivalente de Thevenin, en lugar de actualizar conjuntamente tanto el voltaje como la impedancia resolviéndolos simultáneamente. En particular, la actualización del voltaje equivalente de Thevenin comprende la actualización del voltaje para reflejar la magnitud de cualquier cambio en el fasor de voltaje en la interfaz Int_g que se asocia con grandes variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la interfaz Int_g . Las grandes variaciones en este sentido incluyen variaciones superiores a una variación definida por el umbral.

El procesamiento 100 finalmente incluye computar un índice que indica la estabilidad de la tensión del corredor como una función del voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin rastreados (Bloque 130). Tal como se utiliza en este contexto, este índice comprende cualquier indicador que cuantifica la proximidad del corredor de la transmisión a la inestabilidad de la tensión. Cuando la estabilidad de la tensión del corredor se cuantifica de este modo, se pueden iniciar las acciones que se consideren necesarias para controlar la

estabilidad del corredor y/o para mitigar la degradación del sistema o la propagación de la perturbación. En algunas modalidades, por ejemplo, el procesamiento 100 además comprende realizar una determinada acción de forma automática con base en el índice. En otras modalidades, el procesamiento 100 solo comprende mostrar el índice, por ejemplo, a los operadores del sistema que toman las medidas de control y/o de protección que considere pertinentes.

En cualquier caso, cualquiera que sea la forma particular del índice, computar el índice como se describe previene de forma provechosa, o por lo menos reduce, las falsas alarmas en términos de la detección prematura de la inestabilidad de la tensión del corredor de transmisión. Esto se debe a que el voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin de la parte designada como generadora de energía se rastrean con mayor precisión que con los métodos conocidos. De hecho, en lugar de asignar alguna variación en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la interfaz Int_g a la impedancia equivalente de Thevenin, las modalidades de esta solicitud asignan selectivamente variaciones de aquella magnitud que se considera grandes para el voltaje equivalente de Thevenin en su lugar. Esto refleja con mayor precisión el hecho de que estas grandes variaciones son atribuibles a cambios por lo demás no medidos en la parte designada como generadora de energía (p.ej., alternación de los condensadores en paralelo hacia apagado o encendido, generadores que alcanzan sus límites de potencia reactiva, cortes de línea, etc.), a diferencia de los cambios en la carga local.

La Figura 3 da detalles adicionales acerca de cómo el aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión 8 rastrea el voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin de acuerdo con una o más modalidades. Como se muestra, el aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión 8 ofrece un modelo del sistema 2 como si incluyese una parte generadora de energía g (p.ej., la parte A en la Figura 1), una parte receptora de energía (es decir, carga) l (p. ej., la parte B en la Figura 1), y un corredor de transmisión 6 que hace interfaz con la parte g en una interfaz de la parte generadora de energía Int_g y que hace interfaz con la parte l en una interfaz de la parte receptora de energía Int_l . El aparato 8 además ofrece un modelo de la parte generadora de energía g en términos de su voltaje $\bar{E}_g$ y su impedancia $\bar{Z}_g$ equivalentes de Thevenin, y modela la parte receptora de energía l en términos de su equivalente de impedancia de carga $\bar{Z}_l$. El aparato 8 rastrea $\bar{E}_g$ y $\bar{Z}_g$ con base exclusivamente en un fasor de voltaje $\bar{V}_{Int_g}^i$ y un fasor de corriente $\bar{I}_{Int_g}^i$ en la interfaz Int_g , y rastrea a $\bar{Z}_l$ con base exclusivamente en un fasor de voltaje $\bar{V}_{Int_l}^i$ y un fasor de corriente $\bar{I}_{Int_l}^i$ en la interfaz Int_l .

La Figura 4 ilustra el proceso realizado por el aparato 8 para rastrear a $\bar{E}_g$ y $\bar{Z}_g$ de esta forma, de acuerdo con una o más modalidades (diferentes con respecto a la patente estadounidense No. 7.200.500 B2 de abril de 2007, la cual se incorpora a la presente en su integridad mediante referencia). El procesamiento de la Figura 4 se realiza para cada uno de una pluralidad de tiempos de medición del fasor $i = 0, 1, \dots, N$; es decir, por cada tiempo i se

recibe una muestra de medición sincronizada de una o más UMF 12 desplegadas en la interfaz Int_g . Una muestra de medición recibida de una determinada UMF 12 desplegada en la interfaz Int_g incluye fasores de voltaje $\bar{V}_{Int_g}^0$ medidos en y fasores de corriente $\bar{I}_{Int_g}^0$ medidos en las líneas de transmisión asociadas con la interfaz Int_g . Por supuesto, $\bar{V}_{Int_g}^0$ tiene que ser inicializada en el comienzo del procesamiento de la Figura 4. Al considerar a $\bar{V}_{Int_g}^0$ en coordenadas rectangulares (descritos por sus partes real e imaginaria) y tomando el voltaje $\bar{V}_{Int_g}^0$ como referencia (estableciendo su parte imaginaria en cero), $\bar{V}_{Int_g}^0$ se inicializa como:

$$E_{g,R}^0 = V_{Int_g}^0; \quad E_{g,I}^0 = \sqrt{\left(\frac{Z_s^0 I_{Int_g}^0 - V_{Int_g}^0}{2}\right)^2 - (V_{Int_g}^0)^2} \quad (1)$$

$$Z_s^0 = \frac{V_{Int_g}^0}{I_{Int_g}^0}$$

En donde R indica la parte real e I la parte imaginaria del voltaje complejo de Thevenin $\bar{V}_{Int_g}^0$.

Independientemente, como se muestra en la Figura 8, el aparato computa un fador de voltaje $\bar{V}_{Int_g}^i$ en la interfaz Int_g para el tiempo de medición i (bloque 210). El aparato computa $\bar{V}_{Int_g}^i$ en por lo menos algunas modalidades como:

$$\bar{V}_{Int_g}^i = \frac{\sum_{c \in Int_g} P_c^i \bar{V}_{Int_g,c}^i}{\sum_{c \in Int_g} P_c^i} \quad (2)$$

En donde P_c^i es la transferencia de energía a través de la línea de transmisión c en el tiempo de medición i . El aparato 8 también computa un fador de corriente agregado $\bar{I}_{Int_g}^i$ en la interfaz Int_g para el tiempo de medición i (Bloque 220). Por lo menos en algunas modalidades, el aparato 8 computa $\bar{I}_{Int_g}^i$ en función de la sumatoria de las energías activas y reactivas en la interfaz Int_g . En este caso, el aparato 8 computa $\bar{I}_{Int_g}^i$ como:

$$\bar{I}_{Int_g}^i = \left(\frac{P_{Int_g}^i + jQ_{Int_g}^i}{\bar{V}_{Int_g}^i} \right)^* \quad (3)$$

En donde

$$P_{Int_g}^i = \sum_{c \in Int_g} P_c^i \quad (4)$$

$$Q_{Int_g}^i = \sum_{c \in Int_g} Q_c^i \quad (5)$$

Independientemente, el aparato 8 entonces computa una impedancia equivalente de carga $\bar{Z}_{Int_g}^i$ en la interfaz Int_g para el tiempo de medición i (Bloque 230). Como se muestra en el

modelo de la Figura 5, la impedancia equivalente de carga $\overline{Z}_s$ es la carga “vista” por la interfaz Int_g (en la dirección opuesta a la parte generadora de energía g). De acuerdo con lo anterior, para el tiempo de medición i actual, el aparato 8 de acuerdo con una o más modalidades computa la impedancia equivalente de carga $\overline{Z}_s$ en la interfaz Int_g como:

$$\overline{Z}_s^i = \frac{\overline{V}_{Int_g}^i}{\overline{I}_{Int_g}^i} \tag{6}$$

Habiendo calculado $\overline{Z}_s$, el aparato 8 rastrea a $\overline{V}_g$ y $\overline{I}_g$ computando $\overline{V}_g$ y $\overline{I}_g$ para el tiempo de medición i de diferentes maneras dependiendo de cuánto ha variado la magnitud de $\overline{Z}_s$ desde el tiempo previo de medición $i - 1$. Específicamente, el aparato 8 determina el tamaño de la variación de la magnitud de $\overline{Z}_s$, como $|\overline{Z}_s^i - \overline{Z}_s^{i-1}|$ (bloque 240). El aparato 8 está configurado para considerar el tamaño de esta variación como “grande” si el tamaño de la variación es mayor que una variación definida por el umbral. Por lo menos en algunas modalidades, esta variación definida por umbral es una variación en porcentaje predefinida desde el tiempo previo de medición $i - 1$, definido como ϵ_1 . A manera de ejemplo, el umbral ϵ_1 puede tener un valor en el intervalo de 0,01 a 0,05.

Por otra parte, el aparato 8 está configurado para considerar la magnitud de las variaciones como “pequeña” si el tamaño de la variación es inferior la variación definida por el umbral. Dicho esto, por lo menos en algunas modalidades el aparato 8 considera variaciones especialmente pequeñas como “insignificantes” que no justifican la actualización de $\overline{Z}_g$. Las variaciones insignificantes en este caso se consideran variaciones que son menores de una segunda variación definida por el umbral. Dicha segunda variación definida por umbral puede ser una segunda variación porcentual predefinida desde el tiempo previo de medición $i - 1$, definida como ϵ_2 . A manera de ejemplo, el umbral ϵ_2 puede tener un valor en el intervalo de 0,00005 a 0,001.

Por lo menos en algunas modalidades, el aparato 8 ajusta dinámicamente el umbral que define el primero y/o segundo umbrales de variación, como una función del voltaje equivalente de Thevenin E_g . Es decir, el aparato 8 ajusta dinámicamente ϵ_1 y/o ϵ_2 como una función de la $\overline{V}_g$. En una modalidad, por ejemplo, el aparato 8 disminuye dinámicamente a ϵ_1 y ϵ_2 en respuesta a aumentos en $\overline{V}_g$.

Con independencia de estos detalles, si el aparato 8 considera el tamaño de la variación en la magnitud de la $\overline{Z}_s$, como “grande”, el aparato 8 ajusta la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin computada para el tiempo previo de medición del fasor (es decir, $\overline{V}_g^{\text{previo}}$) por la magnitud de la variación de fasor de voltaje $\overline{V}_g^i$, en la interfaz Int_g , ya que el tiempo previo de medición del fasor (es decir, por $\overline{V}_g^{\text{previo}}$ - $\overline{V}_g^i$) (Bloque 250) (la parte real del voltaje equivalente de Thevenin es fijada en $\overline{V}_g^{\text{previo}}$). Por lo menos en algunas

modalidades, el aparato 8 actualiza $\bar{V}_{int_g}$ de esta manera al actualizar el valor complejo $\bar{V}_{int_g}$ en coordenadas rectangulares (partes real e imaginaria), en contraposición a actualizar por separado la magnitud y el ángulo del valor complejo $\bar{V}_{int_g}$. En este caso, el aparato 8 computa la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin $\bar{V}_{int_g}$ para el tiempo actual de medición del fasor i como:

$$E_{g,i}^i = E_{g,i}^{i-1} \left(1 + \left| \bar{V}_{int_g}^i - \bar{V}_{int_g}^{i-1} \right| \right) \quad (7)$$

Por el contrario, si el aparato 8 considera el tamaño de la variación de la magnitud de $\bar{V}_{int_g}$ como “pequeño”, el aparato 8 aumenta o disminuye la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin computado para el tiempo previo de medición del fasor (es decir, $\bar{V}_{int_g}^{i-1}$) por un porcentaje predefinido de cambio (Bloque 260). En algunas modalidades, por ejemplo, el porcentaje predefinido de cambio es $k \cdot \left| \bar{V}_{int_g}^i - \bar{V}_{int_g}^{i-1} \right|$, en donde k es un parámetro previamente especificado configurado para limitar el error de rastreo dentro de límites predefinidos. A manera de ejemplo, k puede tener un valor en el intervalo de 0,01 a 0,0001, en donde k se fija como más alto dentro de este intervalo para un determinado número de tiempos de muestreo de medición inicial (p.ej., hasta cuando $i = 100$) y se fija como más bajo dentro del intervalo en lo sucesivo. Con independencia de lo anterior, el aparato 8 disminuye $\bar{V}_{int_g}$ en porcentaje predefinido de cambio cuando la variación en la magnitud de $\bar{V}_{int_g}$ (es decir, $\bar{V}_{int_g}^i - \bar{V}_{int_g}^{i-1}$) tiene la misma polaridad de la variación estimada en la impedancia equivalente de Thevenin $\bar{Z}_{th}$ (es decir, $\bar{Z}_{th}^i - \bar{Z}_{th}^{i-1}$ en donde $\bar{Z}_{th}^{i-1}$ es una estimación o evaluación intermedia de $\bar{Z}_{th}$ que toma en cuenta el valor actual de $\bar{V}_{int_g}$ e $\bar{I}_{int_g}$ y el valor previo de $\bar{V}_{int_g}$). A la inversa, el aparato 8 aumenta $\bar{V}_{int_g}$ por el porcentaje predefinido de cambio cuando $\bar{V}_{int_g}^i - \bar{V}_{int_g}^{i-1}$ no tiene misma polaridad que $\bar{Z}_{th}^i - \bar{Z}_{th}^{i-1}$.

Igual que sucede en el caso de las variaciones de gran tamaño, el aparato 8 en algunas modalidades actualiza $\bar{V}_{int_g}$ en respuesta a pequeñas variaciones actualizando el valor complejo $\bar{V}_{int_g}$ en coordenadas rectangulares (partes real e imaginaria), proporcionando así corrección directamente tanto para la magnitud como para el ángulo de $\bar{V}_{int_g}$. Esto contrasta con los enfoques conocidos que actualizan por separado la magnitud y el ángulo del valor complejo $\bar{V}_{int_g}$. La actualización del valor complejo $\bar{V}_{int_g}$ en coordenadas rectangulares permite ventajosamente que el aparato 8 rastree mejor a $\bar{V}_{int_g}$ cuando se enfrenta a cambios dinámicos en el sistema. En una o más modalidades, por ejemplo, el aparato 8 disminuye a $\bar{V}_{int_g}$ al computar incondicionalmente a $\bar{V}_{int_g}$ p.ej. para el tiempo actual de medición del fasor i como:

$$E_{g,i}^i = E_{g,i}^{i-1} \left(1 - \left| E_{g,i}^{i-1} \times k \right| \right) \quad (8)$$

De manera similar, el aparato 8 aumenta $\bar{V}_{g,i}$ al computar incondicionalmente a $\bar{V}_{g,i}$ para el tiempo actual de medición del fasor i como:

$$E_{g,i}^i = E_{g,i}^{i-1} (1 + |E_{g,i}^{i-1} \times k|) \quad (9)$$

Al actualizar $\bar{V}$ de acuerdo con las ecuaciones (8) y (9), la técnica de rastreo equivalente de Thevenin encuentra ventajosamente aplicación aquí para los casos en los cuales los flujos de potencia activa y reactiva por el corredor 6 tienen direcciones opuestas. Esto representa una mejora sobre los abordajes conocido del rastreo equivalente de Thevenin cuando este no es el caso. Por ejemplo, el enfoque del Corsi y Taranto hace que las actualizaciones de $\bar{V}$ se tornen dependientes de un límite inferior ϵ_{inf} y un límite superior ϵ_{sup} . S. Corsi y G. N. Taranto, "A real-time voltage instability identification algorithm based on local phasor measurements", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, No. 3, pp. 1271-1279, agosto de 2008. Pero el límite inferior ϵ_{inf} solo es válido si los flujos de potencia activa y reactiva tienen el mismo sentido. Y el límite superior ϵ_{sup} solo es válido en el punto de la inestabilidad de la tensión (máxima energía entregable). Por tal razón, de acuerdo con una o más modalidades, disminuir a $\bar{V}$ al computar incondicionalmente a $\bar{V}$ de acuerdo con la ecuación (8) y aumentar a $\bar{V}$ al computar incondicionalmente a $\bar{V}$ de acuerdo con la ecuación (9) significa que el aparato 8 no condiciona la cantidad por la cual $\bar{V}$ se disminuye o incrementa sobre el valor los límites inferior y superior de Corsi y Taranto ϵ_{inf} y ϵ_{sup} .

Por último, si el aparato 8 considera el tamaño de la variación de la magnitud de la $\bar{V}$ como "insignificante", el aparato 8 no ajusta el voltaje equivalente de Thevenin $\bar{V}$ (Bloque 270). Es decir, el aparato 8 simplemente computa la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin $\bar{V}$ para el tiempo actual de medición del fasor i como:

=

Sin importar cómo el aparato 8 actualiza el voltaje equivalente de Thevenin $\bar{V}$, el aparato 8, a continuación, actualiza la impedancia equivalente de Thevenin $\bar{Z}$ por separado; es decir, en lugar de actualizar conjuntamente a $\bar{V}$ y $\bar{Z}$ para el tiempo actual de medición i resolviendo simultáneamente a $\bar{V}$ y $\bar{Z}$, el aparato 8 actualiza primero a $\bar{V}$ sin actualizar a $\bar{Z}$ y luego actualiza a $\bar{Z}$ con base en la actualización de $\bar{V}$. Una o más de las presentes modalidades son indiferentes al método de actualización de la impedancia equivalente de Thevenin $\bar{Z}$. En modalidades que se muestran en la Figura 4, sin embargo, el aparato 8 actualiza la impedancia equivalente de Thevenin $\bar{Z}$ resolviendo un sistema de dos ecuaciones lineales para $\bar{Z}$, con base en el voltaje equivalente de Thevenin $\bar{V}$ (actualizado / ajustado para la medición actual del tiempo) (Bloque 280). Específicamente, el aparatos 8 resuelve:

$$y_i = H_i^T x_i \quad (11)$$

$$y_i = \begin{bmatrix} V_{Int_g,R}^i - E_{g,R}^i \\ V_{Int_g,I}^i - E_{g,I}^i \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$x_i = \begin{bmatrix} R_g^i \\ X_g^i \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$H_i^T = \begin{bmatrix} -I_{Int_g,R}^i & I_{Int_g,I}^i \\ -I_{Int_g,I}^i & -I_{Int_g,R}^i \end{bmatrix} \quad (14)$$

donde $V_{Int_g,R}^i$ + $j V_{Int_g,I}^i$ como las partes real e imaginaria de $V_{Int_g}^i$ son las dos variables desconocidas para las cuales el aparato 8 resuelve el sistema de ecuaciones, y donde $E_{g,R}^i$ y $E_{g,I}^i$ como las partes real e imaginaria de E_g^i , y R_g^i y X_g^i como las partes real e imaginaria de Z_g^i , e $I_{Int_g,R}^i$ e $I_{Int_g,I}^i$ como las partes real e imaginaria de $I_{Int_g}^i$ son variables conocidas. La parte real del voltaje equivalente de Thevenin es $V_{Th,R}^i = V_{Int_g,R}^i - E_{g,R}^i$. Computar la impedancia equivalente de Thevenin Z_{Th}^i de esta forma no implica asumir que la reactiva equivalente es insignificante. Por tal razón, a diferencia del enfoque de Corsi y Taranto que hace esta suposición, el enfoque de rastreo equivalente de Thevenin aquí se extiende ventajosamente a niveles inferiores de voltaje donde esta hipótesis no se sostiene.

La actualización del voltaje equivalente de Thevenin V_{Th}^i y la impedancia Z_{Th}^i como se describió arriba da cuenta de forma más precisa del impacto que tiene la parte generadora de energía g del sistema 2 sobre las condiciones de estabilidad del corredor de transmisión 6. De hecho, los cambios en esas condiciones de estabilidad son causados bien sea por (A) cambios en la parte receptora de energía (es decir, carga) l ; o (B) cambios en la parte generadora de energía g no determinados directamente por las mediciones disponibles (p.ej., cambiando los condensadores se conmutan a apagado o encendido, los generadores alcanzan límites de potencia reactiva, cortes de línea, etc.). Si los cambios en la impedancia de carga Z_l^i equivalente de la parte receptora de energía l solo están acompañados de cambios en la corriente $I_{Int_g}^i$ en la interfaz de generación de energía Int_g , sin grandes cambios en el voltaje $V_{Int_g}^i$ en esa interfaz Int_g , esos cambios deberían dar cuenta de las actualizaciones de la impedancia de carga equivalente Z_l^i . El voltaje equivalente de Thevenin V_{Th}^i de la parte generadora de energía g solo debería ser actualizado para reflejar cambios pequeños en el sistema 2 (es decir, de acuerdo con las ecuaciones (8) y (9)). El aparato 8 detecta que este escenario se aplica cuando el aparato 8 detecta variaciones relativamente

pequeñas en la magnitud de la impedancia equivalente de carga $\bar{Z}_L$ en la interfaz Int_g . Por otra parte, si los cambios en la impedancia equivalente de carga $\bar{Z}_L$ de la parte receptora de energía l van acompañados de cambios en la corriente $\bar{I}$ en la interfaz de la parte generadora de energía Int_g , así como por cambios grandes en el voltaje $\bar{V}$ en esa interfaz Int_g , esos cambios deberían dar cuenta de las actualizaciones del voltaje equivalente de Thevenin $\bar{V}_T$ de la parte generadora de energía g (de acuerdo con la ecuación (7)). El aparato 8 detecta que este escenario se aplica cuando el aparato 8 detecta variaciones relativamente grandes en la magnitud de la impedancia equivalente de carga $\bar{Z}_L$ en la interfaz Int_g .

Con independencia de estos detalles adicionales para el rastreo del voltaje equivalente de Thevenin $\bar{V}_T$ y la impedancia $\bar{Z}_L$ de la parte generadora de energía g , el aparato 8 por supuesto computa un índice que indica la estabilidad de la tensión del corredor 6 como una función del rastreo de ese voltaje $\bar{V}$ y esa impedancia $\bar{Z}_L$ (bloque 130 de la Figura 2). Por lo menos en algunas modalidades, el aparato 8 computa este índice también como una función del T-equivalente del corredor 6. La Figura 6 muestra un ejemplo de este tipo de modalidades.

En la Figura 6, el aparato 8 computa el T-equivalente del corredor 6 basado exclusivamente en el fasor de voltaje $\bar{V}$ y el fasor de corriente $\bar{I}$ en la interfaz Int_g y en el fasor de voltaje $\bar{V}$ y el fasor de corriente $\bar{I}$ en la interfaz Int_l . Específicamente, el aparato 8 computa el T-equivalente representado en la Figura 6 por las impedancias complejas $\bar{Z}_T$ y $\bar{Z}_{sh}$ como:

$$\bar{Z}_T = 2 \left(\frac{\bar{V}_{Int_g} - \bar{V}_{Int_l}}{\bar{I}_{Int_g} - \bar{I}_{Int_l}} \right) \quad (15)$$

$$\bar{Z}_{sh} = \frac{\bar{V}_{Int_g} \bar{I}_{Int_l} - \bar{V}_{Int_l} \bar{I}_{Int_g}}{(\bar{I}_{Int_l})^2 - (\bar{I}_{Int_g})^2} \quad (16)$$

Nótese que el aparato 8 computa el T-equivalente de esta manera con base exclusivamente en las mediciones del fasor para un tiempo de medición actual i , lo que significa que el cálculo se realiza ventajosamente sin demora.

Habiendo computado el T-equivalente en esta manera, el aparato 8 en estas modalidades procede computando el equivalente de Thevenin de la combinación de la parte generadora de energía g y el corredor de transmisión 6, como se muestra en la Figura 7. En este sentido, concretamente el aparato 8 computa la impedancia equivalente de Thevenin $\bar{V}_T$ de la combinación de la parte generadora g y el corredor 6, como:

$$\bar{Z}_{th} = \frac{\bar{Z}_T}{2} + \frac{1}{\frac{1}{\bar{Z}_{sh}} + \frac{2}{\bar{Z}_T + 2\bar{Z}_g}} \quad (17)$$

El aparato 6 entonces computa el voltaje equivalente de Thevenin $\bar{V}_{th}$ de la combinación de la parte generadora g y el corredor 6, como:

$$\bar{E}_{th} = \bar{V}_{Int_l} \left(\frac{\bar{Z}_{th} + \bar{Z}_l}{\bar{Z}_l} \right) \quad (18)$$

En donde la impedancia equivalente de carga $\bar{Z}_l$ de la parte receptora de energía (es decir, carga) l es por supuesto:

$$\bar{Z}_l = -\frac{\bar{V}_{Int_l}}{\bar{I}_{Int_l}} \quad (19)$$

Con independencia de la técnica particular para calcular el equivalente de Thevenin de la combinación de la parte generadora de energía g y el corredor de transmisión 6, el aparato 8 por lo menos en algunas modalidades utiliza este equivalente de Thevenin con el fin de expresar el índice de estabilidad de la tensión de forma directa o indirecta en términos de la máxima energía entregable del sistema. La máxima energía entregable del sistema a este respecto se alcanza cuando la magnitud de la impedancia equivalente de Thevenin $\bar{Z}_{th}$ de las partes combinadas de generación y transmisión del sistema 2 equivale a la magnitud de la impedancia equivalente de carga $\bar{Z}_l$ de la parte receptora de energía: $\bar{Z}_{th} = \bar{Z}_l$. El aparato 8 está configurado para calcular cualquier índice de estabilidad que explota esta relación, como una proporción de las impedancias equivalente y de carga, y el margen de potencia reactiva (activa, reactiva y aparente).

Una o más modalidades computan este índice de estabilidad de la tensión de acuerdo con el método de la Figura 2, con el fin de no solo de realizar las ventajas descritas arriba, sino que también de dar cuenta con mayor precisión de los cambios estructurales dentro del corredor de transmisión 6. Específicamente, el aparato 8 en esas modalidades monitorea si un interruptor de carga para cada línea 4, asociado con la interfaz Int_g de la parte generadora de energía está abierto o cerrado. El aparato 8 explota este monitoreo de los interruptores de carga con el fin de mejorar su monitoreo de la impedancia equivalente de carga $\bar{Z}_l$ en la interfaz de la parte generadora de energía Int_g . El aparato 8 en este sentido computa dinámicamente a $\bar{Z}_l$ exclusivamente a partir de las mediciones de fasor tomadas en las líneas 4 cuyos interruptores de carga están cerrados.

En los casos en los cuales el aparato 8 computa $\bar{Z}_l$ de acuerdo con las ecuaciones (2)-(6), por ejemplo, el aparato 8 excluye de la consideración (y efectivamente “elimina” del corredor 6) las líneas de transmisión $c \in Int_g$ que están marcados con los interruptores de carga abiertos. Por lo menos en algunas modalidades, el aparato 8 recibe las señales que

indican el estado de los interruptores de carga de línea tomadas de unidades de medida fasorial desplegadas para esas líneas y dinámicamente marca las líneas que tienen los interruptores de carga abiertos y que por tanto deben excluirse del corredor 6. Efectivamente la “re-computación” de la estructura del corredor 6 en respuesta al estado de los interruptores de carga de la línea de esta manera evita ventajosamente que las mediciones de fasor con valor de cero en las líneas abiertas introduzcan inexactitudes en el cálculo de $\bar{Z}_s$ (diferente con respecto a la patente estadounidense No. 7.200.500 B2, abril de 2007, que se incorpora a la presente en su integridad mediante referencia).

En una o más modalidades, el aparato 8 no solo da cuenta de los cambios estructurales dentro del corredor 6, que dan lugar a la apertura de toda una ruta de transmisión, sino que también dan lugar a la apertura de una parte de la ruta de transmisión. Considérese el ejemplo que se muestra en la Figura 8.

Como se muestra en la Figura 8(a), la estructura del corredor de transmisión 6 comprende inicialmente la colección de tres rutas de transmisión 1, 2 y 3 que se extienden de los cortes virtuales 1 y 2 adyacentes a los buses físicos 1 y 2. La ruta de transmisión 1 consta de una línea 1A que se extiende entre los buses físicos 1 y 5, en donde la línea 1B se extiende entre los buses físicos 4 y 5, la línea 1C se extiende entre los buses físicos 4 y 2. La ruta de transmisión 2 solo consta de la línea 2A, que se extiende entre los buses físicos 1 y 2. Por último, la vía de transmisión 3 consta de la línea 3A que se extiende entre los buses físicos 1 y 3, y la línea 3B se extiende entre los buses físicos 3 y 2. En respuesta a la detección de que el estado del interruptor de carga de la línea 3A ha cambiado de cerrado a abierto, el aparato 8 cambia de computar a P_{Int1} como $P_{1,1} + P_{1,2} - P_{1,3}$ a computar a P_{Int1} como $P_{1,1} + P_{1,2}$. Sin embargo, como se muestra en la Figura 8(b), el aparato 8 ventajosamente reconoce que el cambio a abierto del estado del interruptor de carga para la línea 3A solo se traduce en una apertura parcial de la ruta de transmisión 3. El aparato 8 agrega, por tanto, la porción restante de la ruta 3 al bus 2 como inyección (aquí, como una inyección positiva dada la dirección del flujo de $P_{2,3}$). Esto significa que el aparato 8 sigue computando a P_{Int2} como $P_{2,1} - P_{2,2} - P_{2,3}$ tanto antes como después de detectar el cambio de estado del interruptor de carga de la línea 3A.

Intuitivamente, un cambio en la estructura del corredor 6 requiere la re-inicialización del voltaje equivalente de Thevenin $\bar{E}_g$. Sin embargo, una o más de las presentes modalidades se abstienen de re-inicializar el voltaje equivalente de Thevenin $\bar{E}_g$ en este caso y en su lugar recurren a las actualizaciones del voltaje equivalente de Thevenin $\bar{E}_g$ para que den cuenta con precisión de los cambios de estructura del corredor. Concretamente, en respuesta a la detección de la apertura o el cierre de uno o más interruptores carga de las líneas asociadas con la interfaz de la parte generadora de energía Int_g , el aparato 8 simplemente actualiza el voltaje equivalente de Thevenin $\bar{E}_g$ para reflejar la magnitud del cambio resultante en el fasor de voltaje $\bar{V}_{Int_g}$ en la interfaz Int_g , computada dinámicamente

(para dar cuenta de los cambios en la estructura del corredor), sin volver a inicializar el voltaje equivalente de Thevenin $\bar{E}_g$.

La persona medianamente versada en la materia técnica correspondiente apreciará que las diversas modalidades descritas en el presente documento se presentan como ejemplos no limitantes. Por ejemplo, aunque la Figura 1 muestra la parte A del sistema 2 como si estuviese designada como la parte generadora de energía g , la persona medianamente versada en la materia técnica correspondiente comprenderá que esto no tiene que ser así. De hecho, el aparato 8 de acuerdo con una o más modalidades adapta dinámicamente cuál de las partes del sistema 2 se designa como la parte generadora de energía g . El aparato 8 hace eso en respuesta a la detección de un cambio en la dirección o la magnitud de la energía que fluye a través de una o ambas interfaces entre el corredor 6 y las partes del sistema eléctrico 2. En algunas modalidades, el aparato 8 monitorea dicho cambio en cada tiempo de medición i .

El aparato 8 detecta dinámicamente un cambio en la dirección del flujo de energía en una o más modalidades como una función de la potencia activa agregada en las interfaces del corredor. La potencia activa agregada en una interfaz en este sentido se entiende como la suma algebraica de la potencia activa a lo largo de las líneas de transmisión asociadas con una interfaz. Considérese el ejemplo que se muestra en la Figura 9 (diferente con respecto a la patente estadounidense No. 7.200.500 B2, de abril de 2007, que se incorpora a la presente en su integridad mediante referencia).

Como se muestra en la Figura 9(a), el aparato 8 designa al bus virtual 1 como la interfaz de la parte generadora de energía Int_g que responde a la detección de que la potencia activa agregada P_{1ag} en el bus virtual 1 es positiva y que la potencia activa agregada P_{2ag} en el bus virtual 2 es negativa (en donde la potencia activa positiva indica el flujo de energía que sale del bus y la potencia activa negativa indica el flujo de energía dentro del bus, como es convencional). A la inversa, como se muestra en la Figura 9(b), el aparato 8 designa el bus virtual 2 como la interfaz de la parte generadora de energía Int_g que responde a la detección de que la potencia activa agregada P_{2ag} en el bus virtual 2 es positiva y la potencia activa agregada P_{1ag} en el bus virtual 1 es negativa. Por último, como se muestra en la Figura 9(c), el aparato designa cuál de los buses virtuales 1 o 2 tiene la mayor potencia activa agregada P_{1ag} o P_{2ag} sensible a detectar que tanto la potencia activa agregada P_{1ag} como la P_{2ag} en los buses 1 y 2 son positivas. No obstante, en algunas modalidades el aparato 8 procede como se muestra en la Figura 9(c) solo tras validar la polaridad positiva de ambas potencias activas agregadas. Específicamente, el aparato valida el que las mediciones de fasores utilizadas para computar las potencias activas agregadas no se realizaron durante un corto tiempo a causa de condiciones de falla, en oposición a los corredores de múltiples terminales con configuración de regulación de tensión.

Por supuesto, aunque las anteriores modalidades han sido descritas haciendo referencia a la dirección y/o la magnitud de flujo de potencia activa, las modalidades se aplican igualmente a la dirección y/o la magnitud de flujo de potencia reactiva. De hecho, por

lo menos en algunas modalidades, se supone que la dirección del flujo de la potencia activa y la dirección del flujo de la potencia reactiva son iguales.

Como sea, adaptar dinámicamente la designación de la parte generadora de energía de esta manera ventajosamente generaliza la computación del índice estabilidad de la tensión para aplicarlo a una amplia gama de tipos de sistemas eléctricos y tipos de corredores de transmisión. Por ejemplo, en algunas modalidades el sistema eléctrico 2 comprende un sistema de transmisión interconectado en el cual la dirección del flujo de energía cambia con base en una serie de decisiones operacionales, como las reglas del mercado, la programación del flujo de energía, y el proceso de la cadena de oferta y demanda. Por supuesto, algunas modalidades también se aplican a un sistema radial, en el cual la energía fluye de forma estática de una parte a otra parte del sistema, pero en estos casos no hay ningún requisito de que una parte sea preseleccionada como la parte generadora de energía. Más bien, los cambios en la dirección del flujo de energía se gestionan a través de una serie de validaciones recursivas de las potencias activas agregadas en ambos extremos del corredor 6.

En una o más modalidades, el aparato 8 re-inicializa el voltaje equivalente de Thevenin $\bar{E}_g$ en respuesta a la adaptación dinámica de cuál parte del sistema 2 se designa como la parte generadora de energía g . Esto requiere el uso de un cierto número de muestras de medición para la identificación de voltaje equivalente de Thevenin.

Las ventajas de las mejoras en el monitoreo de la estabilidad de la tensión en los corredores de transmisión introducidas por una o más de las presentes modalidades son ilustradas usando registros de unidades de medida fasorial para el corredor ejemplar que se muestra en la Figura 10A. Las mediciones fasoriales sincronizadas de este ejemplo se recogen a una tasa de 60 muestras/segundo. El corredor ejemplar que se muestra en la Figura 10A incluye una interrupción de línea entre los buses 1 y 3 en el tiempo $t=60$ segundos, en donde la misma línea se volvió cerrar en el tiempo $t=192$ segundos. Se ilustran las ventajas en términos de dos índices de estabilidad de la tensión derivados del concepto del equivalente de Thevenin: La proporción de las impedancias de carga y equivalente, como se muestra en la Figura 10B, y el margen de potencia reactiva, como se muestra en la Figura 10C. Las evoluciones en el tiempo de estos dos índices, con y sin detección e incorporación del cambio estructural dentro del corredor, se indican en las Figuras 10B y 10C. Si la línea abierta es considerada como parte del corredor monitoreado con medición igual a cero (es decir, se desconoce el estado del interruptor de carga), produce errores en la computación de las condiciones de estabilidad del corredor de aproximadamente 0,3 en la proporción de las impedancias y 400 Mvars en el margen de potencia reactiva en comparación con el caso en el cual la línea abierta, junto con su línea contraparte en el Corte 2, es sacada de consideración en el algoritmo (se conoce el estado del interruptor de carga).

En la Figura 11A se muestra un corredor más complicado como otro ejemplo, para demostrar las ventajas de adapta dinámicamente cuál parte del sistema eléctrico es designada como la parte generadora de energía. Este caso incluye interrupciones

consecutivas de dos líneas en $t=7$ segundos y $t=13$ segundos, seguidas de la reconexión de líneas en orden inverso de las interrupciones a los $t=20$ segundos y $t=25$ segundos. Dentro del corredor monitoreado, estos cambios no presentan cambios estructurales, ya que no están directamente relacionados con cortes definidos del corredor. Las potencias activas agregadas en los cortes son tales que ambas se dirigen hacia el corredor, en donde la potencia en el Corte 1 tiene el valor más grande y, por tanto, el Bus 1 está designado como la parte generadora de energía. Los cálculos introducidos por una o más modalidades se presentan aquí como si fuesen realizados con la polaridad correcta (Bus 1 como la parte generadora de energía) e incorrecta (Bus 2 establecido intencionalmente como la parte generadora de energía). Las evoluciones en el tiempo de dos importantes índices de estabilidad de la tensión se indican en la Figura 11B (proporción de impedancias) y la Figura 11C (margen de potencia reactiva). La polaridad incorrecta da lugar a un error considerable: Aproximadamente 0,1 en la proporción de impedancias y 500 Mvars (mayor error) en el margen de potencia reactiva.

En vista de lo anterior, una o más de las presentes modalidades tienen ventajas sobre la patente estadounidense No. 7.200.500 B2. En primer lugar, el área de generación (extremo emisor) equivalente de Thevenin está identificada mediante un procedimiento específico; no se asume como si tuviese una red muy fuerte al emitir y asumir un valor pequeño para su impedancia equivalente que no se actualiza nunca más adelante. Esto ofrece la posibilidad de reflejar los cambios en el área emisor (p.ej., algún generador alcanza su límite, un condensador se conmuta a encendido/apagado, etc.), lo cual no es posible con la solución de la patente '500. Segundo, una o más de las presentes modalidades detecta y controla los cambios dentro del corredor. En la patente '500 esto no es posible, y podría dar lugar a la valoración errónea de las condiciones de estabilidad. La patente '500 solo funciona si el flujo va de emisor a receptor y la estructura del corredor es fija. Esta característica amplía las presentes modalidades a un número mucho más amplio de corredores posibles. Tercero, una o más modalidades detectan cambios de polaridad (dirección de flujo) y cambios de posición de los extremos emisor y receptor. Esto contrasta, nuevamente, con la patente '500, que solo funciona para una dirección de flujo (tanto para la potencia activa como para la reactiva) que va del emisor al receptor.

La persona medianamente versada en la materia técnica correspondiente apreciará que los uno o más "circuitos" aquí descritos puede referirse a una combinación de circuitos analógicos y digitales, y/o uno o más procesadores configurados con software almacenado en la memoria y/o firmware almacenado en la memoria que, cuando son ejecutados por uno o más procesadores, se comportan como se describe aquí. Uno o más de estos procesadores, así como el otro hardware digital, puede ser incluido en un único circuito integrado de aplicación específica (ASIC), o varios procesadores y varios hardware digitales pueden ser distribuidos entre varios componentes separados, ya sea empacados individualmente o ensamblados en un sistema en un chip (SoC).

Así las cosas, la persona medianamente versada en la materia técnica correspondiente reconocerá que la presente invención puede ser llevada a cabo de formas no específicamente establecidas aquí, sin apartarse de las características esenciales de la invención. Por tal razón, las presentes modalidades deben ser consideradas en todos sus aspectos como ilustrativas y no como restrictivas, y todos los cambios que caigan dentro del sentido y el alcance de equivalencia de las reivindicaciones que se anexan tienen por objeto ser abarcados por ellas.

REIVINDICACIONES

Lo que se reivindica es:

1. Un método de monitoreo de la estabilidad de la tensión de un corredor de transmisión (6) a través del cual fluye la energía entre diferentes partes de un sistema eléctrico (2), el cual método se caracteriza por lo siguiente realizado por un aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión (8):

monitorear (110) una impedancia equivalente de carga en una interfaz entre el corredor de transmisión (6) y una parte del sistema eléctrico (2) designada como generadora de dicha energía, la cual impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz comprende una proporción de un fasor de voltaje en la mencionada interfaz a un fasor de corriente en la mencionada interfaz;

rastrear (120) una impedancia y un voltaje equivalentes de Thevenin de la mencionada parte designada por separado actualizando ese voltaje y esa impedancia, en donde actualizar el voltaje equivalente de Thevenin comprende actualizar la parte imaginaria del voltaje para reflejar la magnitud de cualquier cambio en el mencionado fasor de voltaje que se asocia con variaciones grandes en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz, las cuales variaciones grandes incluyen variaciones mayores que una variación definida por el umbral, en donde la mencionada actualización del voltaje equivalente de Thevenin incluye, para cada uno de una pluralidad de tiempos de medición del fasor (240), determinar si o no la variación en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz desde un tiempo previo de medición del fasor es mayor que la variación definida por el umbral y, si es así, ajustar (250) la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin computada para el tiempo previo de medición del fasor por la magnitud del cambio en el mencionado fasor de voltaje desde ese tiempo previo de medición del fasor, en donde el mencionado ajuste comprende computar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin $\bar{E}_{g,l}^i$ para un tiempo de medición actual del fasor i , como $\bar{E}_{g,l}^i = \bar{E}_{g,l}^{i-1} \left(1 + \left| \bar{V}_{Int_g}^i - \bar{V}_{Int_g}^{i-1} \right| \right)$ en donde $\bar{E}_{g,l}^{i-1}$ es la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin para un tiempo de medición previo del fasor $i - 1$, $\bar{V}_{Int_g}^i$ es el mencionado fasor de voltaje para el tiempo actual de medición del fasor y $\bar{V}_{Int_g}^{i-1}$ es el mencionado fasor de voltaje durante el tiempo previo de medición del fasor $i - 1$, y en donde la actualización del voltaje equivalente de Thevenin comprende además establecer la parte real del voltaje equivalente de Thevenin $\bar{E}_{g,R}^i$ para el tiempo actual de medición del fasor i , como $\bar{E}_{g,R}^i = \bar{V}_{Int_g}^i$, y

computar (130) un índice que informa la mencionada estabilidad de la tensión como una función del rastreo del voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin.

2. El método de la reivindicación 1, que además se caracteriza por la inicialización de la parte real del voltaje equivalente de Thevenin como $E_{g,R}^0 = V_{Intg}^0$, e inicializar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin como

$$E_{g,I}^0 = \sqrt{\left(\frac{Z_s^0 I_{Intg}^0 - V_{Intg}^0}{2}\right)^2 - \left(V_{Intg}^0\right)^2} \text{ en donde } Z_s^0 = \frac{V_{Intg}^0}{I_{Intg}^0} \text{ en donde } I_{Intg}^0 \text{ es un valor inicial para dicho fasor de corriente, en donde } V_{Intg}^0 \text{ es un valor inicial para dicho fasor de voltaje.}$$

3. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-2, que se caracteriza porque la actualización de la impedancia equivalente de Thevenin comprende resolver un sistema de dos ecuaciones lineales con dos variables desconocidas que comprenden las partes real e imaginaria de la impedancia equivalente de Thevenin, en donde las variables conocidas en el sistema de dos ecuaciones lineales incluyen la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin actualizada para reflejar la magnitud de los cambios en el mencionado fasor de voltaje y la parte real del voltaje equivalente de Thevenin establecida para dicho fasor de voltaje para una medición actual del tiempo fasor.
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, que además se caracteriza por ajustar dinámicamente un umbral que define la variación definida por el umbral, como una función del voltaje equivalente de Thevenin.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que además se caracteriza por adaptar dinámicamente cuál de las mencionadas partes del sistema eléctrico (2) se designa como la generadora de dicha potencia, sensible a la detección de un cambio en la dirección o la magnitud de la energía que fluye a través de una o ambas interfaces entre el corredor de transmisión (6) y las mencionadas partes del sistema eléctrico (2).
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que además se caracteriza por monitorear si un interruptor de carga para cada línea asociada con la mencionada interfaz está abierto o cerrado, y en donde el monitoreo de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz comprende computar dinámicamente la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz exclusivamente a partir de las mediciones de fasor tomadas en líneas cuyos interruptores de carga están cerrados.
7. El método de la reivindicación 6, que se caracteriza porque, en respuesta a la detección de la apertura o el cierre de uno o más de los mencionados interruptores de carga, la mencionada actualización comprende actualizar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin para reflejar la magnitud del cambio resultante en dicho fasor de voltaje, computada dinámicamente, sin reinicializar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin.
8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 -7, que se caracteriza porque la actualización del voltaje equivalente de Thevenin comprende además, en respuesta a pequeñas variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz, disminuir o aumentar (260) la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin en un porcentaje predefinido de cambio las mencionadas

pequeñas variaciones tienen o no la misma polaridad que las variaciones estimadas en la mencionada impedancia equivalente de Thevenin, respectivamente, en donde las mencionadas pequeñas variaciones incluyen variaciones menores que la variación definida por el umbral.

9. El método de la reivindicación 8, que se caracteriza porque, en respuesta a pequeñas variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz, aumentar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin comprende computar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin como $E_{g,l}^i = E_{g,l}^{i-1} (1 + |E_{g,l}^{i-1} \times k|)$ y disminuir la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin comprende computar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin como $E_{g,l}^i = E_{g,l}^{i-1} (1 - |E_{g,l}^{i-1} \times k|)$, en donde $E_{g,l}^i$ es la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin para un tiempo actual de medición del fasor i , $E_{g,l}^{i-1}$ es la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin para un tiempo previo de medición del fasor $i - 1$, y k es un parámetro previamente especificado configurado para limitar el error de rastreo dentro de límites predefinidos, y en donde la actualización del voltaje equivalente de Thevenin comprende además establecer la parte real del voltaje equivalente de Thevenin $E_{g,R}^i$ para el tiempo actual de medición del fasor i , como $E_{g,R}^i = V_{Int_g}^i$.
10. El método de la reivindicación 9, que se caracteriza porque, en respuesta a pequeñas variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz, aumentar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin comprende computar incondicionalmente la parte imaginaria de voltaje equivalente de Thevenin como $E_{g,l}^i = E_{g,l}^{i-1} (1 + |E_{g,l}^{i-1} \times k|)$ y disminuir la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin comprende computar incondicionalmente la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin como $E_{g,l}^i = E_{g,l}^{i-1} (1 - |E_{g,l}^{i-1} \times k|)$.
11. Un aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión (8) configurado para monitorear la estabilidad de la tensión de un corredor de transmisión (6) a través del cual la energía fluye entre las diferentes partes de un sistema eléctrico (2), el cual aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión (8) se caracteriza por uno o más circuitos de procesamiento (14) configurados para:
 - monitorear una impedancia equivalente de carga en una interfaz entre el corredor de transmisión (6) y una parte del sistema eléctrico (2) designada como generadora de la mencionada potencia, la cual impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz comprende una proporción de un fasor de voltaje en la mencionada interfaz a un fasor de voltaje en la mencionada interfaz;
 - rastrear un voltaje y una impedancia equivalentes de Thevenin de dicha parte designada actualizando por separado el voltaje y la impedancia, en donde actualizar el voltaje equivalente de Thevenin comprende actualizar la parte imaginaria del voltaje para reflejar la magnitud de los cambios en el mencionado fasor de voltaje que están asociados con grandes variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de

carga en la mencionada interfaz, las cuales grandes variaciones incluyen variaciones mayores que una variación definida por umbral, en donde los uno o más circuitos de procesamiento están configurados para actualizar el voltaje equivalente de Thevenin para cada uno de una pluralidad de tiempos de medición de fasor, determinar si o no la variación en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz desde un tiempo previo de medición del fasor es mayor que la variación definida por el umbral y, en caso afirmativo, ajustar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin computado para el tiempo previo de medición del fasor por la magnitud del cambio en el mencionado fasor de voltaje desde ese tiempo previo de medición del fasor, computando la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin $E_{g,l}^i$ para un tiempo de medición del fasor actual i , como $E_{g,l}^i = E_{g,l}^{i-1} \left(1 + \left| \bar{V}_{Int_g}^i \times \bar{V}_{Int_g}^{i-1} \right| \right)$ en donde $E_{g,l}^{i-1}$ es la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin para un tiempo previo de medición del fasor $i-1$, $\bar{V}_{Int_g}^i$ es el mencionado fasor de voltaje para el tiempo actual de medición del fasor i , y $\bar{V}_{Int_g}^{i-1}$ es el mencionado fasor de voltaje para el tiempo previo de medición del fasor $i-1$, y establecer la parte real del voltaje equivalente de Thevenin $E_{g,R}^i$ para el tiempo actual de medición del fasor i como $E_{g,R}^i = \bar{V}_{Int_g}^i$, y

calcular un índice que informa la mencionada estabilidad de la tensión como una función del rastreo del voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin.

12. El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de la reivindicación 11, que se caracteriza porque los uno o más circuitos de procesamiento (14) están configurados para inicializar la parte real del voltaje equivalente de Thevenin como $E_{g,R}^0 = V_{Int_g}^0$, e inicializar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin como

$$E_{g,l}^0 = \sqrt{\left(\frac{Z_s^0 I_{Int_g}^0 - V_{Int_g}^0}{2} \right)^2 - \left(V_{Int_g}^0 \right)^2} \text{ en donde } Z_s^0 = \frac{V_{Int_g}^0}{I_{Int_g}^0} \text{ en donde } I_{Int_g}^0 \text{ es un valor inicial para}$$

dicho fasor actual, en donde $V_{Int_g}^0$ es un valor inicial para el mencionado fasor de voltaje.

13. El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de cualquiera de las reivindicaciones 11-12, que se caracteriza porque los uno o más circuitos de procesamiento (14) están configurados para actualizar la impedancia equivalente de Thevenin al resolver un sistema de dos ecuaciones lineales con dos variables desconocidas que comprenden las partes real e imaginaria de la impedancia equivalente de Thevenin, en donde las variables conocidas en el sistema de dos ecuaciones lineales incluyen la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin actualizado para reflejar la magnitud de los cambios en el mencionado fasor de voltaje y la parte real del voltaje equivalente de Thevenin establecido para el mencionado fasor de voltaje para un tiempo actual de medición del fasor.
14. El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de cualquiera de las reivindicaciones 11-13, que se caracteriza porque los uno o más circuitos de

procesamiento están además configurados para ajustar dinámicamente un umbral asociado con la variación definida por el umbral en función del voltaje equivalente de Thevenin.

15. El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de cualquiera de las reivindicaciones 11-14, que se caracteriza porque los uno o más circuitos de procesamiento (14) están configurados además para adaptar dinámicamente cuál de las mencionadas partes del sistema eléctrico (2) se designa como la generadora de dicha potencia, en respuesta a la detección de un cambio en la dirección o la magnitud de la energía que fluye a través de una o ambas interfaces entre el corredor de transmisión (6) y las mencionadas partes del sistema eléctrico (2).
16. El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de cualquiera de las reivindicaciones 11-15, que se caracteriza porque los uno o más circuitos de procesamiento (14) están configurados además para monitorear si un interruptor de carga para cada línea asociada con la mencionada interfaz está abierto o cerrado, y están configurados para monitorear la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz computando dinámicamente la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz exclusivamente a partir de las mediciones del fasor tomadas en líneas cuyos interruptores de carga están cerrados.
17. El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de la reivindicación 16, que se caracteriza porque los uno o más circuitos de procesamiento (14) están configurados, en respuesta a la detección de la apertura o el cierre de uno o más de los mencionados interruptores de carga, para actualizar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin para reflejar la magnitud del cambio resultante en dicho fasor de voltaje, computada dinámicamente, sin reinicializar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin.
18. El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de cualquiera de las reivindicaciones 11-17, que se caracteriza porque los uno o más circuitos de procesamiento (14) están configurados para actualizar el voltaje equivalente de Thevenin también, en respuesta a pequeñas variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz, disminuyendo o aumentando la parte imaginaria de voltaje equivalente de Thevenin en un porcentaje predefinido de cambio cuando las mencionadas pequeñas variaciones tienen o no la misma polaridad que las variaciones estimadas en dicha impedancia equivalente de Thevenin, respectivamente, las cuales pequeñas variaciones incluyen variaciones menores que la variación definida por el umbral.
19. El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de la reivindicación 18, que se caracteriza porque los uno o más circuitos de procesamiento (14) están configurados, en respuesta a pequeñas variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz, para aumentar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin como $E_{g,l}^i = E_{g,l}^{i-1} (1 + |E_{g,l}^{i-1} \times k|)$ y disminuir la parte imaginaria del voltaje

equivalente de Thevenin como $E_{g,l}^i = E_{g,l}^{i-1} (1 - |E_{g,l}^{i-1} \times k|)$, en donde $E_{g,l}^i$ es la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin para un tiempo de medición del fasor actual i , $E_{g,l}^{i-1}$ es la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin para un tiempo previo de medición del fasor $i - 1$, y k es un parámetro previamente especificado configurado para limitar el error de rastreo dentro de los límites predefinidos, y para fijar la parte real del voltaje equivalente de Thevenin $E_{g,R}^i$ para el tiempo actual de medición del fasor i como $E_{g,R}^i = \overline{V}_{Intg}^i$.

20. El aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión de la reivindicación 19, que se caracteriza porque los uno o más circuitos de procesamiento (14) están configurados, en respuesta a pequeñas variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la mencionada interfaz, para aumentar la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin computando incondicionalmente la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin como $E_{g,l}^i = E_{g,l}^{i-1} (1 + |E_{g,l}^{i-1} \times k|)$ y disminuir la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin computando incondicionalmente el voltaje equivalente de Thevenin como $E_{g,l}^i = E_{g,l}^{i-1} (1 - |E_{g,l}^{i-1} \times k|)$

RESUMEN

Un aparato de monitoreo de la estabilidad de la tensión (8) para monitorear la estabilidad de la tensión en un corredor de transmisión (6) a través del cual fluye la energía entre las diferentes partes de un sistema eléctrico (2). El aparato (8) monitorea una impedancia equivalente de carga en una interfaz entre el corredor de transmisión (6) y una parte del sistema eléctrico (2) designada como la parte generadora de energía. Esta impedancia equivalente de carga a la interfaz comprende una proporción entre un fasor de voltaje en la interfaz y un fasor de corriente en la interfaz. El aparato (8) rastrea el voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin de la parte designada actualizando por separado el voltaje y la impedancia. En particular, el aparato (8) actualiza la parte imaginaria del voltaje equivalente de Thevenin para reflejar la magnitud de los cambios en el fasor de voltaje que están asociados con grandes variaciones en la magnitud de la impedancia equivalente de carga en la interfaz. El aparato (8) computa un índice que indica la estabilidad de la tensión en función de este rastreo del voltaje y la impedancia equivalentes de Thevenin.

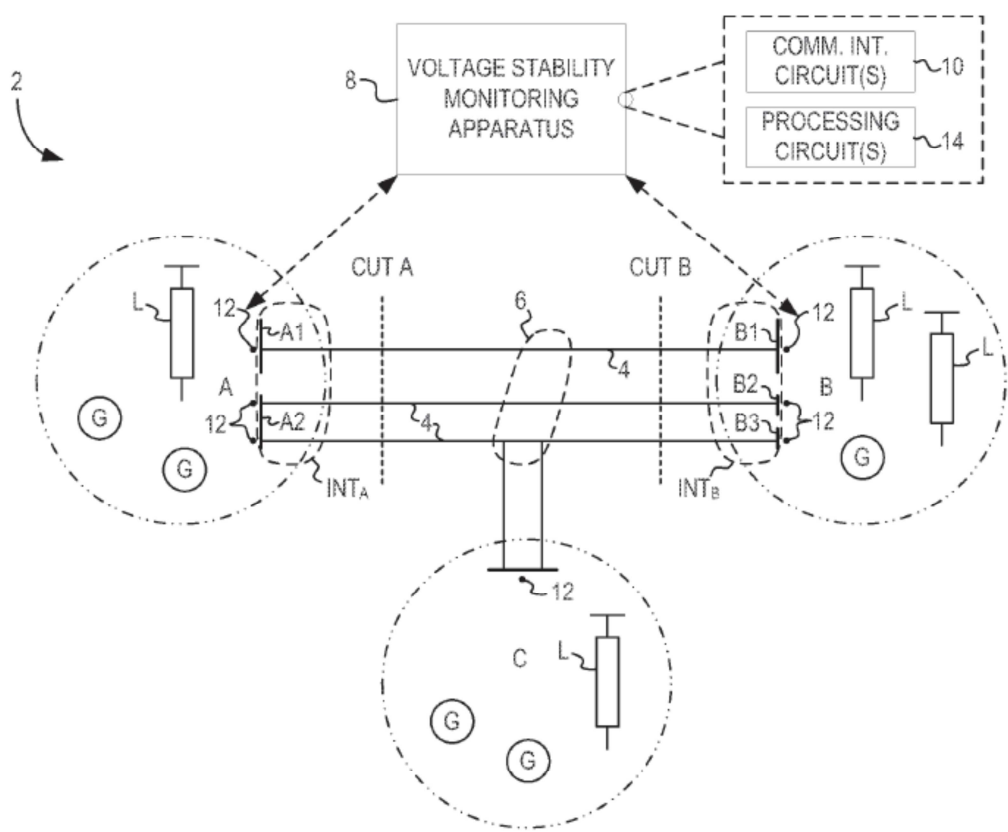


FIG. 1

APARATO DE MONITOREO DE LA ESTABILIDAD DE LA TENSION

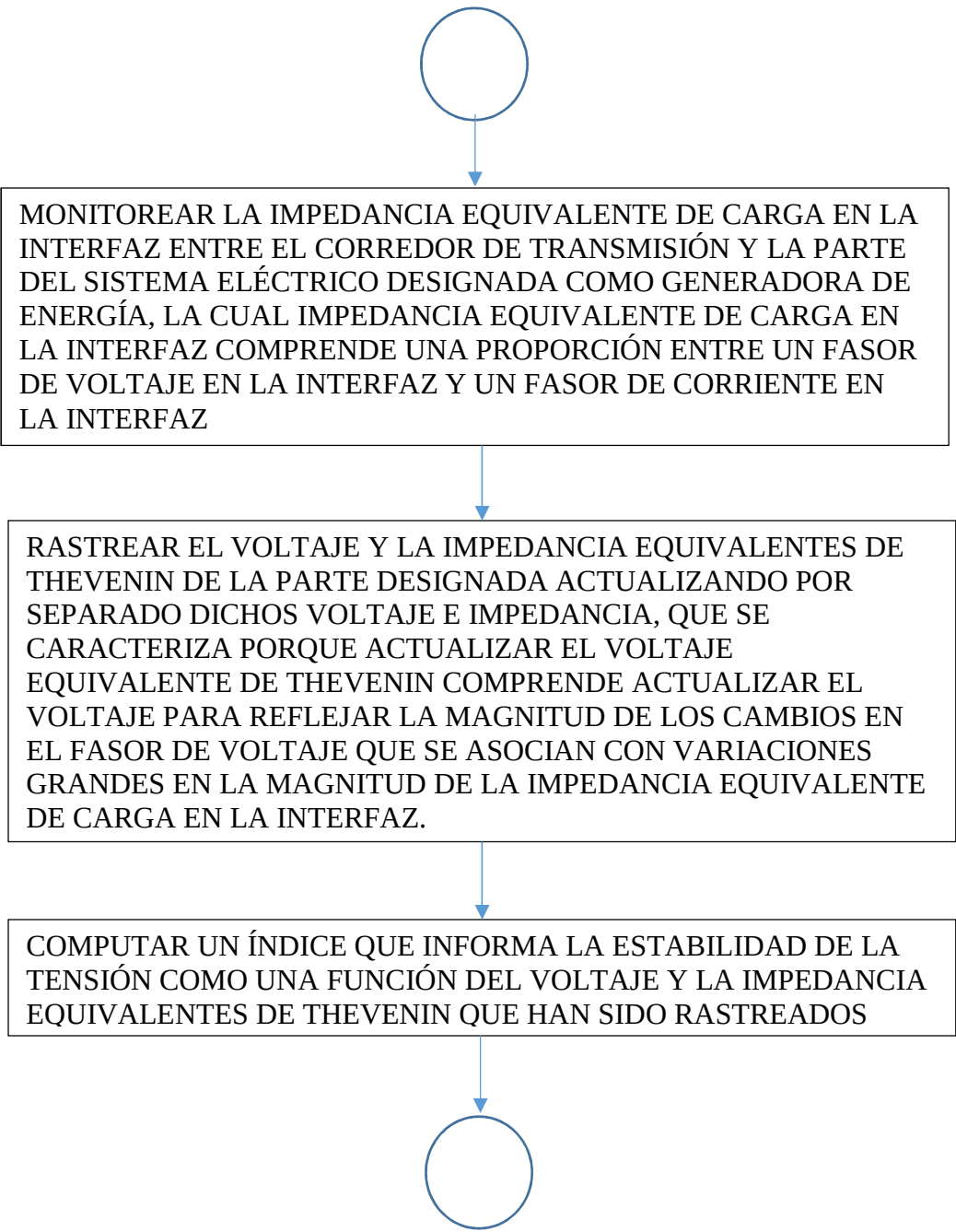
CIRCUITOS INTERNOS DE COM.
CIRCUITOS DE PROCESAMIENTO

CORTE A

CORTE B

FIG. 2
100

110



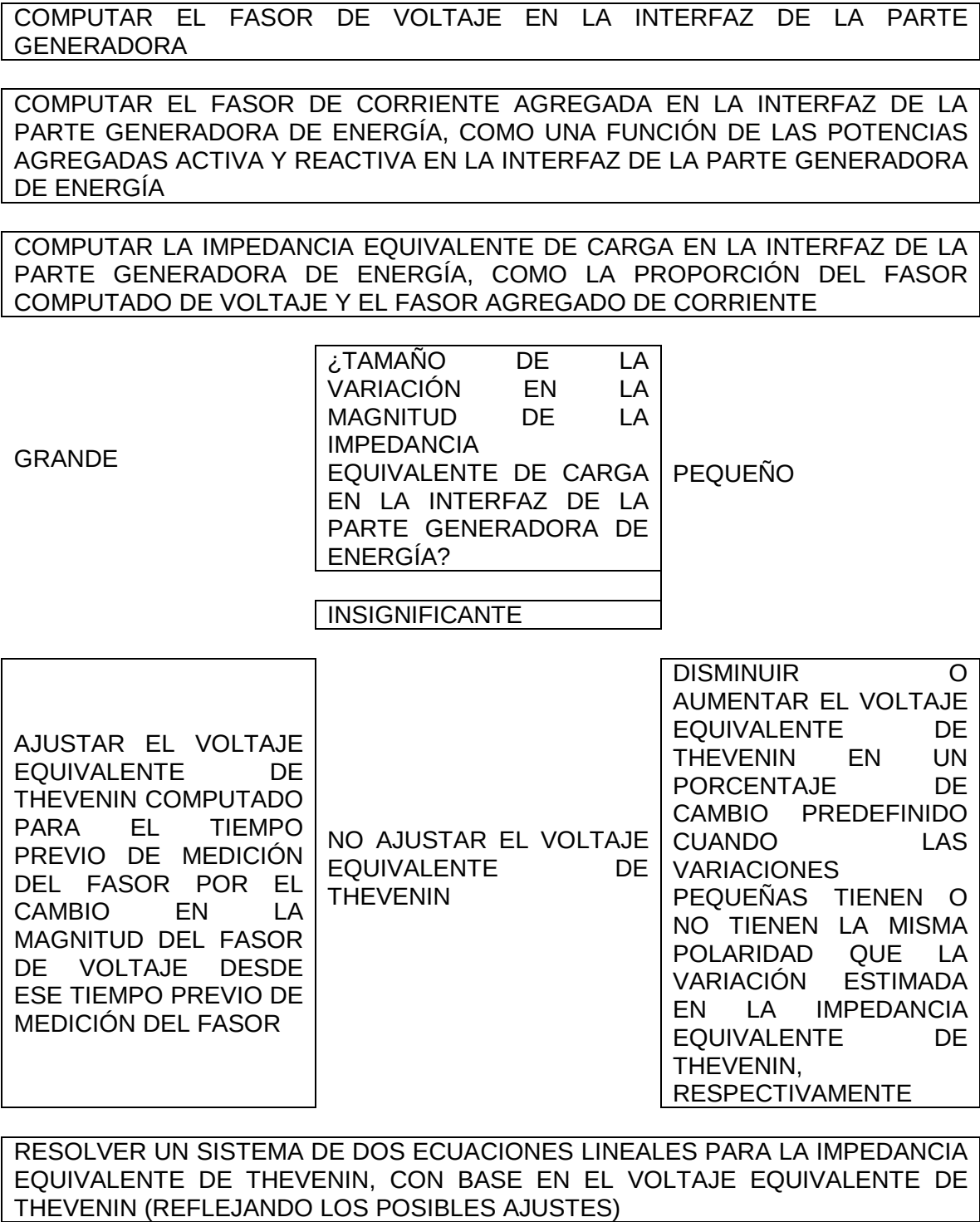


Fig. 4

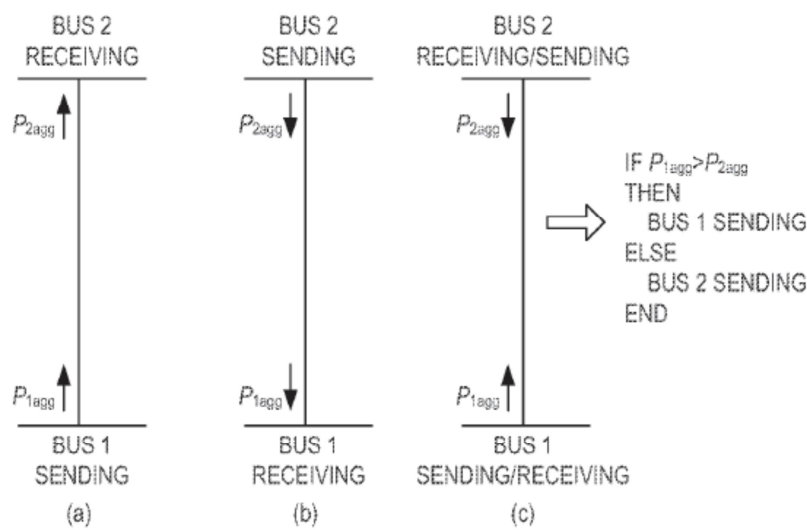
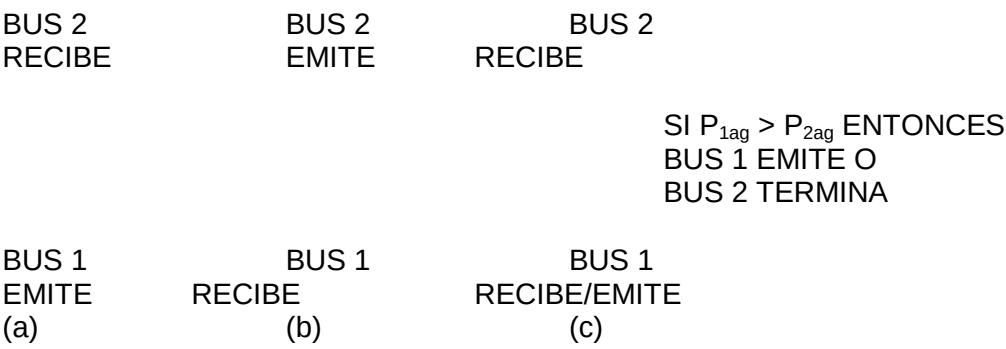


FIG. 9



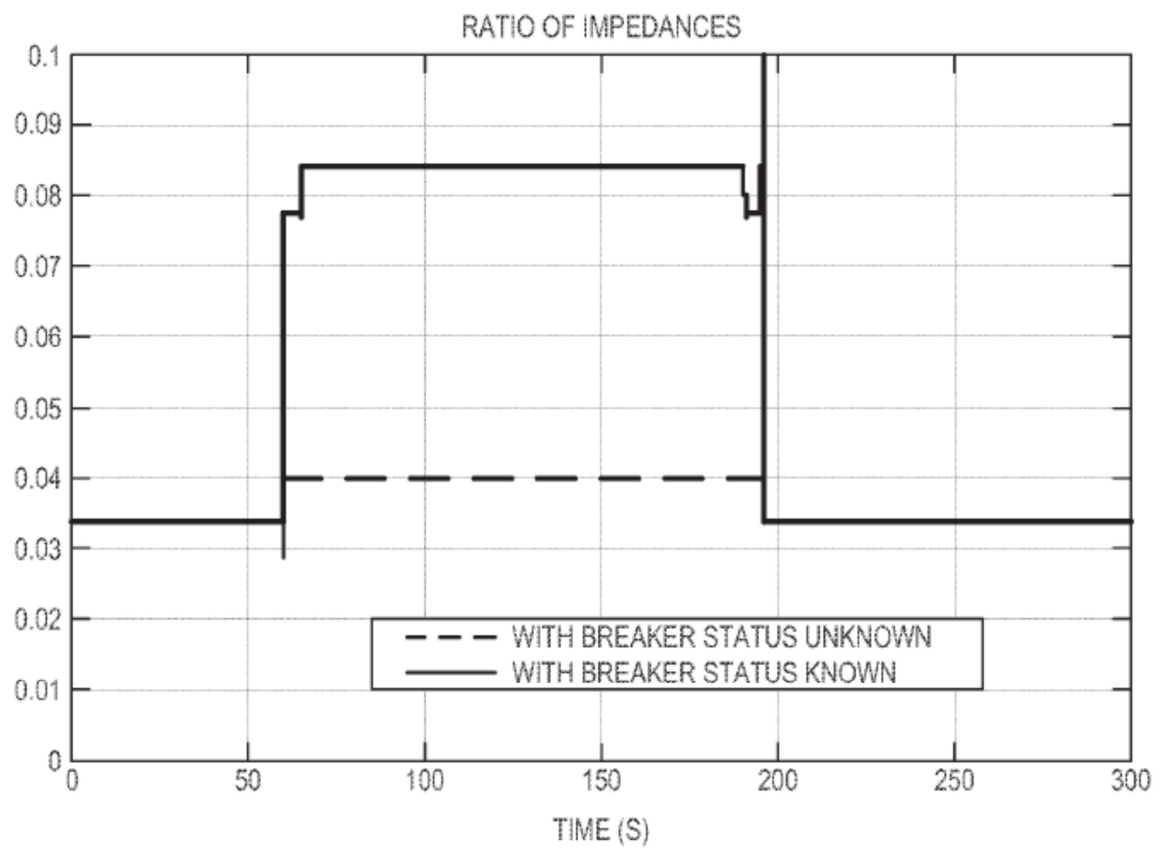


FIG. 10B

PROPORCIÓN DE IMPEDANCIAS

CON ESTADO DE INTERRUPTOR DE CARGA DESCONOCIDO

CON ESTADO DE INTERRUPTOR DE CARGA SCONOCIDO

TIEMPO(S)

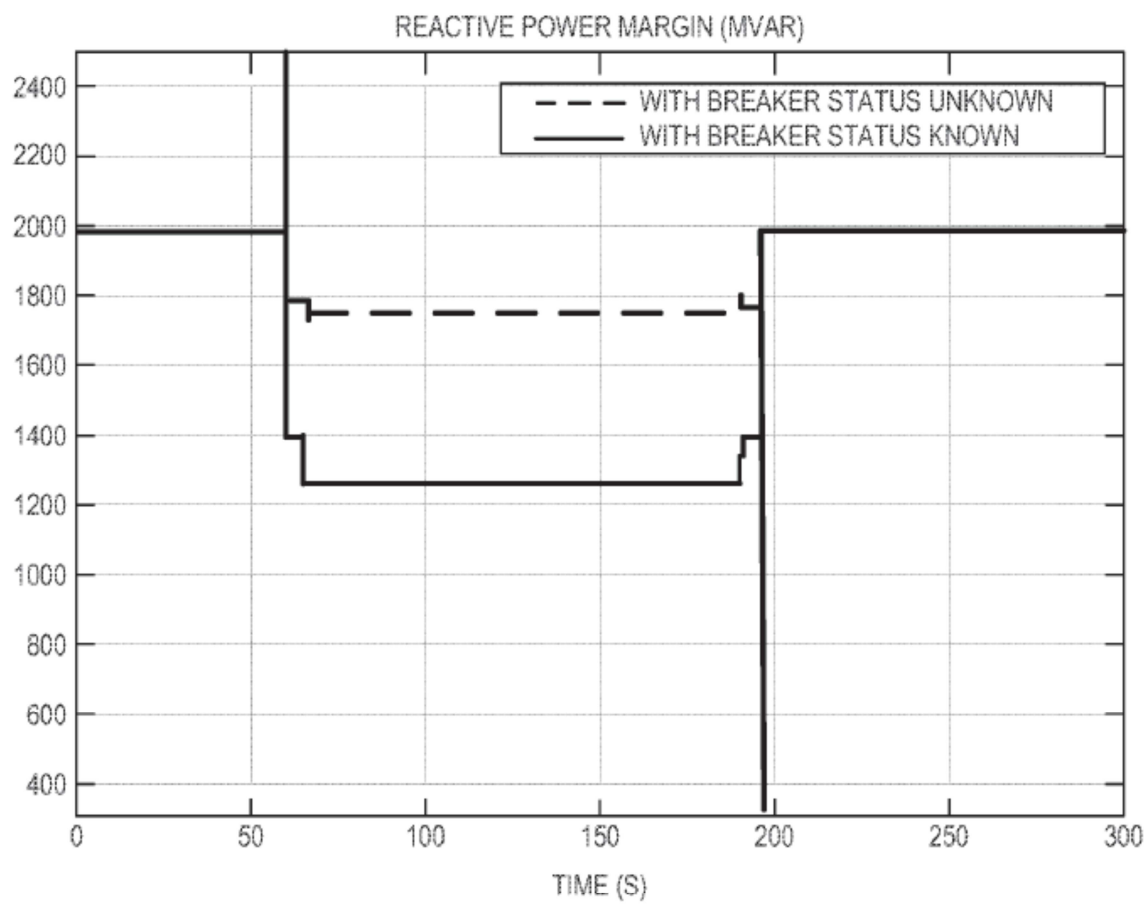


FIG. 10C

MARGEN DE POTENCIA REACTIVA (MVAR)

CON ESTADO DE INTERRUPTOR DE CARGA DESCONOCIDO

CON ESTADO DE INTERRUPTOR DE CARGA SCONOCIDO

TIEMPO(S)

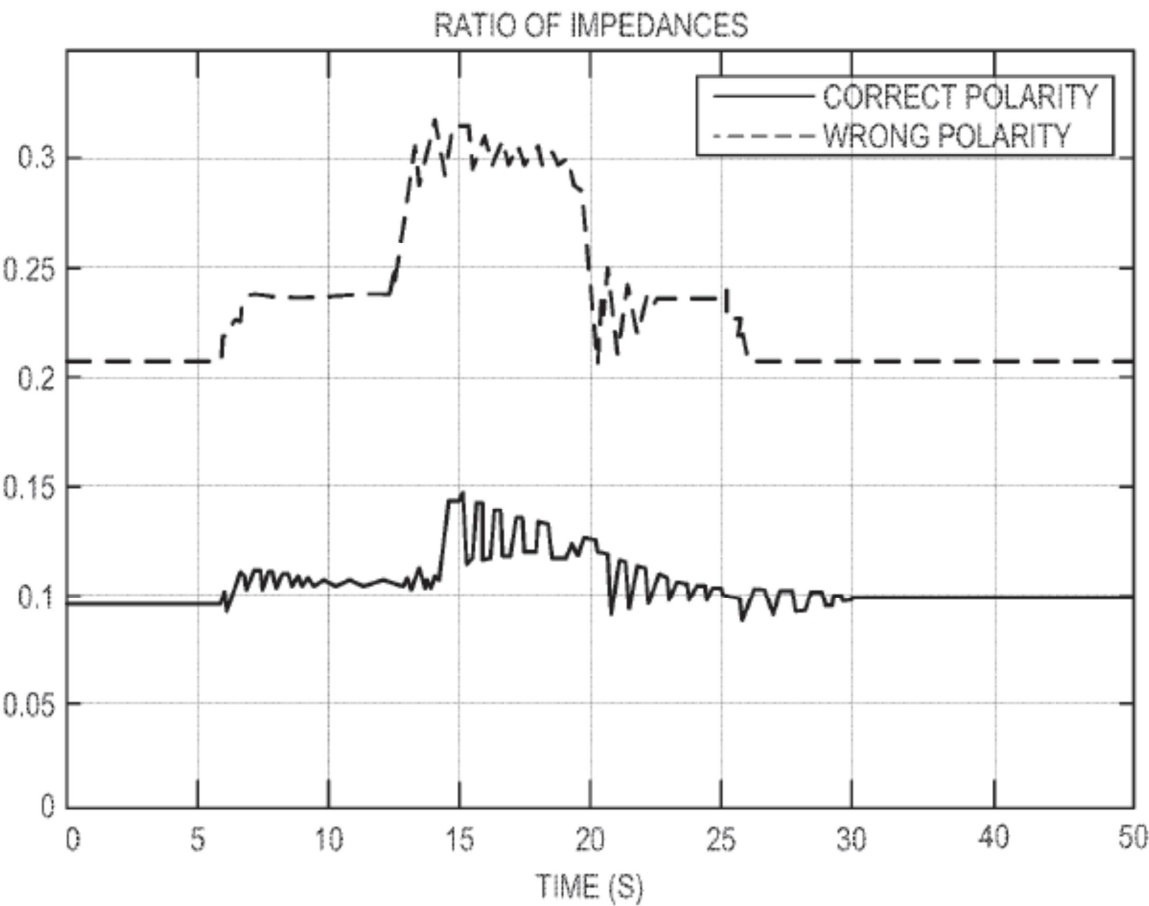


FIG. 11B

PROPORCIÓN DE IMPEDANCIAS

POLARIDAD CORRECTA
POLARIDAD INCORRECTA

TIEMPO(S)

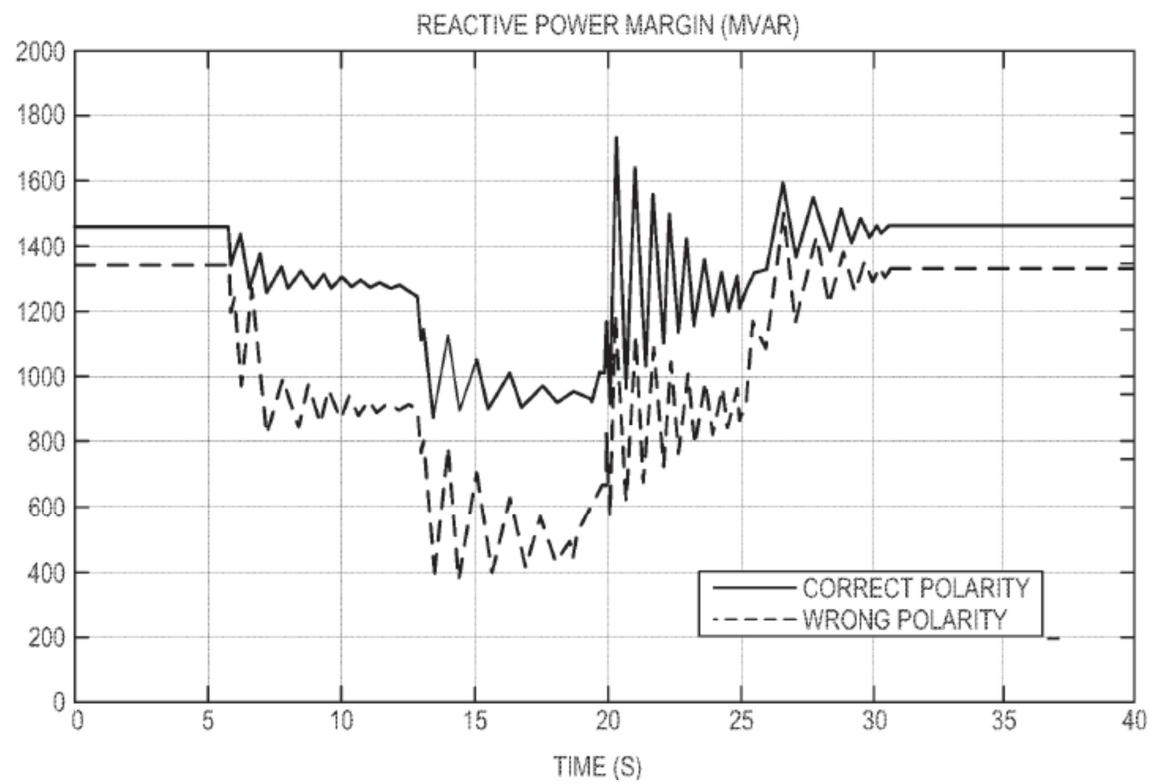


FIG. 11C

MARGEN DE POTENCIA REACTIVA (MVAR)

POLARIDAD CORRECTA
POLARIDAD INCORRECTA

TIEMPO(S)