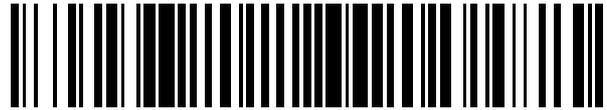


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 502 892**

51 Int. Cl.:

H02J 3/24

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2008 E 08159312 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.07.2014 EP 2079143**

54 Título: **Procedimiento y aparato para determinar un margen de estabilidad de la tensión para una restricción de carga dentro de un sistema de red eléctrica**

30 Prioridad:

02.07.2007 GB 0712749
14.08.2007 GB 0715760

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.10.2014

73 Titular/es:

ALSTOM TECHNOLOGY LTD. (50.0%)
Brown Boveri Str. 7
5400 Baden, CH y
SCHNEIDER ELECTRIC ENERGY UK LTD (50.0%)

72 Inventor/es:

WISZNIEWSKI, ANDRZEJ;
REBIZANT, WALDEMAR y
KLIMEK, ANDRZEJ

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 502 892 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para determinar un margen de estabilidad de la tensión para una restricción de carga dentro de un sistema de red eléctrica

5 La presente invención versa sobre un procedimiento de determinación de un margen de estabilidad de la tensión dentro de un sistema de red eléctrica, y sobre un aparato para monitorizar límites de estabilidad de la tensión dentro de un sistema de red eléctrica y para el control dinámico de la restricción y la restauración de carga.

Durante las perturbaciones a gran escala del sistema de red eléctrica, la última línea de defensa que impide el colapso de la tensión es la restricción de carga en las estaciones en las que el margen de estabilidad de la tensión se vuelve demasiado bajo.

10 Estas perturbaciones pueden llevar al sistema de red eléctrica a volverse inestable, lo que puede provocar un colapso de la tensión o un corte de suministro.

Para permitir que se adopte una medida correctiva es necesario, en primer lugar, establecer cuándo se ha vuelto inestable el sistema de red eléctrica.

15 Los sistemas convencionales de monitorización comparan la frecuencia del sistema de red eléctrica, la tasa de cambio de la frecuencia, el nivel de tensión, la tasa de decaimiento de la tensión, los niveles del flujo de potencia, con un valor de referencia fijo, e indican que el sistema de red eléctrica se ha vuelto inestable cuando la tensión o la frecuencia han caído por debajo del valor de referencia.

20 Actualmente, los dispositivos monitorizan la frecuencia y/o la tensión con configuraciones fijadas en las que la restricción de carga puede iniciarse en etapas cuando la frecuencia o la tensión han declinado hasta un nivel acordado.

La desventaja de tal enfoque resulta del hecho de que la relación entre el nivel de tensión y el límite de estabilidad depende mucho de la FEM fuente y del factor de la potencia de carga. Así, restringir la carga en etapas en configuraciones fijas de tensión no garantiza que el sistema permanezca estable después de que se complete la operación.

25 Por lo tanto, existe la necesidad de evaluar con mayor precisión el nivel de estabilidad de la tensión dentro de un sistema de red eléctrica para permitir una restricción y/o una restauración dinámicas de carga que se basen en una estimación dinámica del margen de estabilidad.

30 El artículo de Balanathan et al: "A strategy for undervoltage load shedding in power systems" de las actas del congreso POWERCON '98 da a conocer un procedimiento de monitorización de la estabilidad de tensión que usa la relación entre la impedancia de carga y la impedancia de fuente equivalente como medida de la estabilidad de tensión en el bus de carga.

La esencia de la invención es el hecho de que puede usarse la derivada de la potencia aparente con respecto a la admitancia de carga para determinar el margen de estabilidad e iniciar la restricción de carga si el margen se vuelve demasiado pequeño.

35 La invención se refiere al procedimiento de la reivindicación 1 y al aparato de la reivindicación 5.

Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de monitorización de la estabilidad de la tensión en un sistema de red eléctrica que comprende las etapas de:

- 40 establecer un margen dinámico de estabilidad del sistema de red eléctrica basado en una característica operativa del sistema de red eléctrica; e
- indicar que el sistema de red eléctrica se ha vuelto inestable cuando el margen dinámico de estabilidad del sistema de red eléctrica cae por debajo de un valor predeterminado;
- iniciar la restricción y/o la restauración dinámicas de carga dependiendo del margen de estabilidad.

El procedimiento de monitorización de la estabilidad de tensión en un sistema de red eléctrica incluye las etapas de:

- 45 medir la tensión V del sistema de red eléctrica,
- estimar el ángulo fuente ϕ_S con un error no superior a (+/-) 7 grados,
- medir el valor del ángulo de carga ϕ_L en el bus,
- establecer una diferencia (Δ) entre el ángulo fuente ϕ_S y el ángulo de carga ϕ_L ,
- determinar un estado de la estabilidad de la tensión calculando la derivada de la potencia aparente con respecto a la admitancia de carga (dS/dY),
- 50 determinar el margen (M) de estabilidad en relación con el cociente entre la impedancia de carga y la impedancia de la fuente,
- determinar el punto operativo de tensión (V_{PO}) en relación con Δ ,

ajustar dinámicamente la diferencia entre el ángulo fuente φ_S y el ángulo de carga φ_L para actualizar continuamente el punto operativo de tensión (V_{PO}),
 determinar una cantidad de carga que ha de restringirse si el margen (M) se vuelve demasiado bajo, y/o
 iniciar la restricción controlada de carga cuando la diferencia (DV) entre la tensión del sistema de red eléctrica y el punto operativo de tensión es mayor que cero y/o el margen (M) de estabilidad alcanza un valor predeterminado,
 restaurar automáticamente la carga cuando el margen (M) y/o los cocientes de DV vuelven a los valores fijos predeterminados.

5 Aunque un sistema de red eléctrica se haya vuelto inestable, no siempre es necesario tomar medidas correctivas porque, por ejemplo, el sistema de red eléctrica puede ser capaz de corregirse por sí mismo sin intervención.
 10

Las anteriores etapas establecen criterios adicionales para determinar si deben tomarse medidas correctivas, en forma de restricción de carga, tras una indicación de que el sistema de red eléctrica se ha vuelto inestable. El punto dinámico operativo de tensión varía según los cambios en el sistema de red eléctrica y, por ello, es un reflejo del estado real del sistema de red eléctrica. En consecuencia, estas etapas contribuyen a reducir adicionalmente la incidencia de una intervención innecesaria para restaurar la estabilidad en un sistema de red eléctrica y, así, reducir la inconveniencia causada a los usuarios del sistema de red eléctrica.
 15

El procedimiento se basa en la definición de la estabilidad de tensión y calcula el cociente como la derivada de la potencia aparente de carga con respecto a la admitancia de carga. Tal factor proporciona una indicación muy buena del nivel de estabilidad de la tensión en un sistema de red eléctrica y, por ello, permite una determinación precisa de si el sistema de red eléctrica se ha vuelto inestable.
 20

Según la invención, la derivada de la potencia aparente de carga con respecto a la admitancia de carga $\left(\frac{dS}{dY}\right)$ está determinada por

$$\frac{dS}{dY} = V^2 \cdot \frac{1 - (Z_S Y)^2 - 2(Z_S Y) \left[Y \frac{d(\cos \Delta)}{dY} \right]}{1 + (Z_S Y)^2 + 2(Z_S Y) \cos \Delta},$$

siendo S la potencia aparente de carga, siendo V la tensión del sistema de red eléctrica, siendo Z_S la impedancia de la fuente, siendo Y la admitancia de carga, dada por $Y = 1/Z_L$, siendo Z_L la impedancia de carga, y siendo Δ la diferencia dinámica del ángulo de fase entre la fuente y la carga del sistema de red eléctrica.
 25

Esto permite un cálculo inmediato de la derivada de la potencia aparente de carga con respecto a la admitancia de carga y, por ello, facilita la actualización constante de este cociente para que refleje los cambios en el sistema de red eléctrica.

Δ se determina dinámicamente por

$$\Delta = \varphi_S - \varphi_L,$$

30 siendo φ_S el ángulo de fase de la fuente y siendo φ_L el ángulo de fase de la carga.

El procedimiento incluye la medición de φ_L en el sistema de red eléctrica y la determinación de φ_S mediante estimación.

Tales etapas simplifican el cálculo de la derivada de la potencia aparente de carga con respecto a la admitancia de carga.

35 Según la invención, establecer un margen dinámico de estabilidad del sistema de red eléctrica basado en una característica operativa del sistema de red eléctrica incluye calcular el margen de estabilidad ($\text{Margen}_{\text{Estabilidad}}$) del sistema de red eléctrica según

$$\text{Margen}_{\text{Estabilidad}} = \frac{Z_L}{Z_S} - 1,$$

siendo

$$\frac{Z_L}{Z_S} = \left(\sqrt{\frac{Z_{L2}}{Z_{L1}}} \right) \frac{M+1}{-(MF+F2) + \left[(MF+F2)^2 - M^2 + 1 \right]^{0,5}}$$

y

$$F = \cos[0,5(\Delta1 + \Delta2)] \quad F_2 = Y \frac{d(\cos \Delta)}{dy},$$

siendo Z_{L1} y Z_{L2} valores inicial y final de la impedancia de carga, siendo $\Delta1$ y $\Delta2$ los valores inicial y final del ángulo Δ , siendo F y $F2$ factores intermedios para simplificar la fórmula y estando dado M por

$$M = \frac{dS}{V^2 dY} = \left(\frac{Y}{S} \right) \left(\frac{dS}{dY} \right).$$

- 5 Tales etapas establecen un margen dinámico de estabilidad del sistema de red eléctrica que refleja con precisión el nivel de estabilidad en el sistema de red eléctrica y puede ser usado para determinar la cantidad de carga que ha de restringirse.

Establecer un punto dinámico operativo de tensión basado en las características operativas del sistema de red eléctrica incluye, preferentemente, el cálculo del punto operativo de tensión (V_{PO}) en relación con S , Y , Z_S según:

$$V_{PO}^2 = \left(\frac{dS}{dY} \right) \frac{1 + H^2 + 2H \cos \Delta}{1 - H^2 - H \left(2Y \cdot \frac{d(\cos \Delta)}{dY} \right)},$$

- 10 denotando el factor "H" de la ecuación el cociente ($Z_S Y$), en el que debería iniciarse la restricción de carga.

Tales etapas permiten que el punto operativo de tensión sea calculado fácilmente.

- 15 El procedimiento de monitorización de la estabilidad en un sistema de red eléctrica puede incluir, además, la asignación ($Z_S Y$) de un valor predeterminado. Esto contribuye a restablecer continuamente (dinámicamente) el punto operativo de tensión a un nivel adecuado que sigue variando según cambios en el sistema de red eléctrica debido a su dependencia de Δ .

Opcionalmente, el procedimiento de monitorización de la estabilidad de tensión en un sistema de red eléctrica incluye, además, las etapas de:

- 20 determinar si cambia el nivel de inestabilidad de tensión en el sistema de red eléctrica; y
reconectar una o más cargas si el disminuye el nivel de inestabilidad de tensión en el sistema de red eléctrica.

Estas etapas contribuyen a devolver el sistema de red eléctrica a su configuración operativa normal tan pronto como sea posible.

En otra realización preferente de la invención, el procedimiento de monitorización de la estabilidad de tensión en un sistema de red eléctrica incluye, además, las etapas de:

- 25 determinar la velocidad a la que cambia el nivel de inestabilidad en el sistema de red eléctrica; y
ajustar el grado en el que cambia la carga según la velocidad a la que cambia el nivel de inestabilidad en el sistema de red eléctrica.

- 30 Las anteriores etapas permiten que el procedimiento se adapte al nivel y la naturaleza de la inestabilidad de tensión en el sistema de red eléctrica y que modifique la cantidad de carga que se elimina o se reintroduce dependiendo, por ejemplo, de si el sistema de red eléctrica se encamina a hacerse estable o se aleja más de hacerse estable.

En otra realización preferente adicional de la invención, el procedimiento de monitorización de la estabilidad de tensión en un sistema de red eléctrica incluye, además, la etapa de monitorización de la admitancia de carga del sistema de red eléctrica y de establecer únicamente un margen dinámico de estabilidad del sistema de tensión tras la detección de un cambio en la admitancia de carga.

Esta etapa impide cualquier indicación errónea de que el sistema de red eléctrica se haya vuelto inestable tras cambios en la tensión o la impedancia de la fuente.

Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un aparato para monitorizar la estabilidad de tensión en un sistema de red eléctrica que comprende:

- 5 un módulo de establecimiento para monitorizar un margen de estabilidad basado en una característica operativa del sistema de red eléctrica;
- un indicador para indicar que el sistema de red eléctrica se ha vuelto inestable cuando el margen de estabilidad cae por debajo de un valor predeterminado; y
- 10 un iniciador para iniciar la restricción y/o la restauración dinámicas de carga dependiendo del margen de estabilidad.

El aparato de la invención incluye:

- un módulo medidor para medir la tensión V del sistema de red eléctrica,
- un módulo estimador para estimar el ángulo fuente φ_S con un error no superior a (+/-) 7 grados,
- 15 un módulo medidor para medir el valor del ángulo de carga φ_L en el bus,
- un módulo establecedor para establecer una diferencia (Δ) entre el ángulo fuente φ_S y el ángulo de carga φ_L ,
- un módulo determinador para determinar un estado de la estabilidad de la tensión calculando la derivada de la potencia aparente con respecto a la admitancia de carga (dS/dY),
- 20 un módulo determinador para determinar el margen (M) de estabilidad en relación con el cociente entre la impedancia de carga y la impedancia de la fuente.

Opcionalmente, el aparato incluye:

- un módulo determinador para determinar el punto operativo de tensión (V_{PO}) en relación con Δ ,
- un módulo corrector para ajustar dinámicamente la diferencia entre el ángulo fuente φ_S y el ángulo de carga φ_L para actualizar continuamente el punto operativo de tensión (V_{PO}),
- 25 un módulo determinador para determinar una cantidad de carga que ha de restringirse si el margen (M) se vuelve demasiado bajo, y/o
- un módulo iniciador para iniciar la restricción controlada de carga cuando la diferencia (DV) entre la tensión del sistema de red eléctrica y el punto operativo de tensión es mayor que cero y/o el margen (M) de estabilidad alcanza un valor predeterminado,
- 30 un módulo restaurador para restaurar automáticamente la carga cuando el margen (M) y/o los cocientes de DV vuelven a los valores fijos predeterminados.

El aparato de la invención comparte las ventajas de las correspondientes etapas del procedimiento de la invención.

- 35 Sigue ahora una breve descripción de una realización preferente de la invención, a título de ejemplo no limitante, con referencia al dibujo adjunto de la Figura 1, que muestra una vista esquemática de un circuito equivalente de un sistema de red eléctrica.

Un procedimiento para mantener la estabilidad en un sistema de red eléctrica según una primera realización de la invención incluye las etapas de:

- 40 establecer un margen dinámico de estabilidad del sistema de red eléctrica basado en una característica operativa del sistema de red eléctrica; e
- indicar que el sistema de red eléctrica se ha vuelto inestable cuando el margen dinámico de estabilidad del sistema de red eléctrica cae por debajo de un valor predeterminado;
- iniciar la restricción y/o la restauración dinámicas de carga dependiendo del margen de estabilidad.

- 45 Basar el margen dinámico de estabilidad del sistema de red eléctrica en una característica operativa del sistema de red eléctrica permite que el margen de estabilidad se adapte a cambios en el sistema de red eléctrica tales como, por ejemplo, cambios en la configuración de los buses, las líneas y las cargas en el sistema de red eléctrica.

La característica operativa del sistema de red eléctrica es la derivada de la potencia aparente de carga con respecto a la admitancia de carga $\left(\frac{dS}{dY}\right)$, que está determinada por

$$\frac{dS}{dY} = V^2 \cdot \frac{1 - (Z_S Y)^2 - 2(Z_S Y) \left[Y \frac{d(\cos \Delta)}{dY} \right]}{1 + (Z_S Y)^2 + 2(Z_S Y) \cos \Delta},$$

siendo S la potencia aparente de carga, siendo V la tensión del sistema de red eléctrica, siendo Z_S la impedancia de la fuente, siendo Y la admitancia de carga, dada por $Y = 1/Z_L$, siendo Z_L la impedancia de carga, y siendo Δ la diferencia dinámica del ángulo de fase entre la fuente y la carga del sistema de red eléctrica.

5 En la Figura 1 se muestra un circuito equivalente 10 de Thévenin del sistema de red eléctrica. El circuito 10 incluye una fuerza electromotriz (FEM) 12 de fuente equivalente, la impedancia de la fuente 14 y la impedancia 16 de carga. La tensión V del sistema de red eléctrica atraviesa la impedancia 16 de carga.

El nivel del límite de estabilidad de tensión en el sistema de red eléctrica es objeto de aproximación cuando $(Z_S Y)$ se acerca a la unidad, es decir, llega a estar cerca de uno. En consecuencia, la derivada de la potencia aparente de

10 carga con respecto a la admitancia de carga $\left(\frac{dS}{dY} \right)$ es un buen indicador del margen de estabilidad del sistema de red eléctrica.

Δ se determina dinámicamente por

$$\Delta = \varphi_S - \varphi_L,$$

siendo φ_S el ángulo de fase de la fuente y siendo φ_L el ángulo de fase de la carga.

Determinar Δ dinámicamente quiere decir que la derivada de la potencia aparente de carga con respecto a la admitancia de carga $\left(\frac{dS}{dY} \right)$ refleja continuamente el estado real de la estabilidad del sistema de red eléctrica.

15 El ángulo de fase de la carga φ_L se mide en el sistema de red eléctrica, mientras que al ángulo de fase de la fuente φ_S se llega por estimación.

20 Una manera en que puede estimarse el ángulo de fase de la fuente φ_S es realizando mediciones fasoriales en puntos diferentes del sistema y comparándolas con el fasor medido en el punto de referencia en el sistema. Otra forma de estimación depende de la medición de la corriente de línea de la línea entrante en la subestación y los parámetros de línea (R) y (X) y de la estimación del ángulo de fase calculándolo a partir del valor complejo de la impedancia de la línea.

Otra manera adicional en la que puede estimarse el ángulo de fase de la fuente φ_S es calculando la impedancia de la fuente equivalente siguiendo el principio del circuito equivalente de Thévenin.

El margen de estabilidad ($\text{Margen}_{\text{Estabilidad}}$) del sistema de red eléctrica se calcula según

$$\text{Margen}_{\text{Estabilidad}} = \frac{Z_L}{Z_S} - 1,$$

25 siendo

$$\frac{Z_L}{Z_S} = \left(\sqrt{\frac{Z_{L2}}{Z_{L1}}} \right) \frac{M + 1}{-(MF + F2) + \left[(MF + F2)^2 - M^2 + 1 \right]^{0.5}}$$

y

$$F = \cos[0,5(\Delta1 + \Delta2)] \quad F_2 = Y \frac{d(\cos \Delta)}{dY},$$

siendo Z_{L1} y Z_{L2} valores inicial y final de la impedancia de carga, siendo $\Delta1$ y $\Delta2$ los valores inicial y final del ángulo Δ , siendo F y F2 factores intermedios para simplificar la fórmula,

y estando dado M por

$$M = \frac{dS}{V^2 dY} = \left(\frac{Y}{S} \right) \left(\frac{dS}{dY} \right).$$

El procedimiento para mantener la estabilidad en un sistema de red eléctrica según la primera realización de la invención también incluye, tras una indicación de que el sistema de red eléctrica se ha vuelto inestable, las etapas de:

- 5 ajustar dinámicamente la diferencia Δ entre el ángulo fuente ϕ_S y el ángulo de carga ϕ_L ,
determinar el punto operativo de tensión (V_{PO}) en relación con Δ y actualizar continuamente el punto operativo de tensión (V_{PO}),
medir la tensión (V) del sistema de red eléctrica,
- 10 determinar la diferencia entre la tensión del sistema de red eléctrica y el punto operativo de tensión (DV)
para iniciar la restricción de carga si el DV es mayor que cero,
determinar una cantidad de carga que ha de restringirse en función del margen (M) e iniciar la restricción de carga si el margen se vuelve demasiado bajo.

15 Estas etapas adicionales proporcionan una comprobación adicional sobre el estado del sistema de red eléctrica antes de iniciar medidas correctivas, en forma de restricción de carga, para mantener la estabilidad del sistema de red eléctrica. Como tales, estas etapas contribuyen a reducir adicionalmente la probabilidad de que se inicie innecesariamente una medida correctiva cuando, por ejemplo, sea probable que el sistema de red eléctrica se vuelva estable por sí solo sin intervención.

El punto operativo de tensión (V_{PO}) se calcula en relación con S , Y , Z_S según:

$$V_{PO}^2 = \left(\frac{dS}{dY} \right) \frac{1 + H^2 + 2H \cos \Delta}{1 - H^2 - H \left(2Y \cdot \frac{d(\cos \Delta)}{dY} \right)},$$

denotando el factor " H " en la ecuación el cociente ($Z_S Y$), en el que debería iniciarse la restricción de carga.

- 20 Además, en la realización descrita, se asigna a ($Z_S Y$) un valor predeterminado. Normalmente, esto depende de la velocidad de degradación de la estabilidad de tensión en el sistema y es un valor recomendado al que se llega mediante ensayos exhaustivos para establecer la regla más optimizada para establecer el punto operativo de tensión.

25 El procedimiento de la primera realización también incluye determinar si el nivel de perturbación en el sistema de red eléctrica está cambiando; y reconectar una o más cargas si el nivel de perturbación en el sistema de red eléctrica está disminuyendo.

Un nivel decreciente de perturbación en el sistema de red eléctrica indica que el sistema de red eléctrica se encamina hacia la estabilidad y, por ello, es posible reintroducir una o más cargas en el sistema de red eléctrica para minimizar cualquier inconveniencia a los usuarios del sistema de red eléctrica.

- 30 El procedimiento de la invención según la primera realización también incluye determinar la velocidad a la que cambia el nivel de perturbación en el sistema de red eléctrica; y ajustar el grado en el que cambia la carga según la velocidad a la que cambia el nivel de perturbación en el sistema de red eléctrica.

35 Tal enfoque imbuje al procedimiento de un grado de adaptabilidad en relación con la velocidad a la que cambia el nivel de perturbación en el sistema de red eléctrica. Por lo tanto, una mayor velocidad de cambio en el nivel de perturbación puede dar como resultado un cambio mayor en la restricción de carga que si el nivel de perturbación está cambiando a una velocidad menor.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de monitorización de la estabilidad de la tensión dentro de un sistema de red eléctrica, comprendiendo el procedimiento las etapas de establecer un margen de estabilidad de la tensión $\text{Margen}_{\text{Estabilidad}}$ basado en una característica operativa del sistema de red eléctrica que incluye el cálculo:

$$\text{Margen}_{\text{Estabilidad}} = \frac{Z_L}{Z_S} - 1,$$

- 5 en la que Z_L es una impedancia de carga conectada al bus del sistema de red eléctrica y Z_S es una impedancia de fuente equivalente del sistema de energía, de modo que:

$$\frac{Z_L}{Z_S} = \left(\sqrt{\frac{Z_{L2}}{Z_{L1}}} \right) \frac{M + 1}{-(MF + F_2) + \left[(MF + F_2)^2 - M^2 + 1 \right]^{0,5}},$$

en la que

- 10 a) Z_{L1} y Z_{L2} son, respectivamente, los valores inicial y final de la impedancia de carga Z_L ,
b)

$$M = \frac{dS}{V^2 dY} = \left(\frac{Y}{S} \right) \left(\frac{dS}{dY} \right),$$

siendo S una potencia aparente de carga, siendo V una tensión del sistema de red eléctrica y siendo Y la admitancia de carga dada por $Y = 1/Z_L$, y

$$\frac{dS}{dY} = V^2 \cdot \frac{1 - (Z_S Y)^2 - 2(Z_S Y) \left[Y \frac{d(\cos \Delta)}{dY} \right]}{1 + (Z_S Y)^2 + 2(Z_S Y) \cos \Delta},$$

con $\Delta = \varphi_S - \varphi_L$,

- 15 c) siendo φ_S el ángulo de fase de la impedancia de fuente equivalente y siendo φ_L el ángulo de fase de la carga, $F = \cos[0,5(\Delta_1 + \Delta_2)]$, y
d)

$$F_2 = Y \frac{d(\cos \Delta)}{dY}.$$

- 20 siendo Δ_1 y Δ_2 , respectivamente, los valores inicial y final de Δ ; indicando que el sistema de red eléctrica se ha vuelto inestable cuando el margen de estabilidad de la tensión cae por debajo de un valor predeterminado, e iniciando una restricción y/o una restauración dinámicas de carga dependiendo del margen de estabilidad de la tensión.

2. Un procedimiento de monitorización de la estabilidad dentro de un sistema de red eléctrica según la Reivindicación 1 en el que el ángulo de fase de la carga φ_L se mide en el bus en el sistema de red eléctrica y el ángulo de fase de la impedancia de fuente equivalente φ_S se estima con un error no superior a (+/-) 7 grados.
- 25 3. Un procedimiento de monitorización de la estabilidad de la tensión dentro de un sistema de red eléctrica según la Reivindicación 1 que, además, comprende una etapa de determinación de un punto operativo de tensión V_{PO} basado en la característica operativa del sistema de red eléctrica, calculándose dicho punto operativo de tensión V_{PO} en relación con S , Y , Z_S según:

$$V_{PO}^2 = \left(\frac{dS}{dY} \right) \frac{1 + H^2 + 2H \cos \Delta}{1 - H^2 - H \left(2Y \cdot \frac{d(\cos \Delta)}{dY} \right)},$$

denotando el factor "H" la relación $(Z_S Y)$, en la que debería iniciarse la restricción de carga, y actualizándolo continuamente en relación con los cambios en la diferencia entre el ángulo de fase de la impedancia de fuente equivalente φ_S y el ángulo de fase de la carga φ_L .

5 4. Un procedimiento de mantenimiento de la estabilidad dentro de un sistema de red eléctrica, comprendiendo el procedimiento un procedimiento de monitorización de la estabilidad de la tensión dentro del sistema de red eléctrica según cualquier reivindicación 1, 2, 3 y que, además, comprende una etapa de inclusión de la restauración automática de la carga cuando el margen de estabilidad de la tensión vuelve a valores fijos predeterminados.

10 5. Un aparato para monitorizar la estabilidad de la tensión dentro de un sistema de red eléctrica, incluyendo el aparato:

un módulo de establecimiento para establecer un margen dinámico de estabilidad del sistema de red eléctrica basado en una característica operativa del sistema de red eléctrica,

un indicador para indicar que el sistema de red eléctrica se ha vuelto inestable cuando el margen dinámico de estabilidad del sistema de red eléctrica cae por debajo de un valor predeterminado,

15 un módulo de medición para medir la tensión V del sistema de red eléctrica,

un módulo de estimación para estimar el ángulo de impedancia de fuente equivalente φ_S con un error no superior a (+/-) 7 grados,

un módulo de medición para medir el valor del ángulo de fase de la carga φ_L en el bus del sistema de red eléctrica,

20 un módulo de establecimiento para establecer una diferencia Δ entre φ_S y φ_L ,

un módulo de determinación para determinar un estado del margen de estabilidad de la tensión calculando dS/dY , de modo que:

$$\frac{dS}{dY} = V^2 \cdot \frac{1 - (Z_S Y)^2 - 2(Z_S Y) \left[Y \frac{d(\cos \Delta)}{dY} \right]}{1 + (Z_S Y)^2 + 2(Z_S Y) \cos \Delta},$$

siendo S la potencia aparente de carga, siendo Z_S la impedancia de fuente equivalente del sistema de red eléctrica, siendo Y la admitancia de carga dada por $Y = 1/Z_L$, siendo Z_L la impedancia de carga conectada a un bus del sistema de red eléctrica, y

25 un módulo de determinación para determinar dicho margen de estabilidad de la tensión en relación con la relación entre la impedancia de carga y la impedancia de fuente equivalente según:

$$\text{Margen}_{\text{Estabilidad}} = \frac{Z_L}{Z_S} - 1,$$

siendo

$$\frac{Z_L}{Z_S} = \left(\sqrt{\frac{Z_{L2}}{Z_{L1}}} \right) \frac{M + 1}{-(MF + F_2) + [(MF + F_2)^2 - M^2 + 1]^{0,5}},$$

siendo Z_{L1} y Z_{L2} , respectivamente, los valores inicial y final de la impedancia de carga Z_L y:

$$M = \frac{dS}{V^2 dY} = \left(\frac{Y}{S} \right) \left(\frac{dS}{dY} \right),$$

$$F = \cos[0,5(\Delta_1 + \Delta_2)],$$

$$F_2 = Y \frac{d(\cos \Delta)}{dY},$$

30 siendo Δ_1 y Δ_2 , respectivamente, los valores inicial y final de Δ ; incluyendo el aparato, además, un medio para iniciar la restricción y/o la restauración dinámicas de carga dependiendo de dicho margen de estabilidad.

6. Un aparato según la reivindicación 5 que, además, comprende:

un módulo de determinación para determinar un punto operativo de tensión V_{PO} en relación con Δ , de modo que:

$$V_{PO}^2 = \left(\frac{dS}{dY} \right) \frac{1 + H^2 + 2H \cos \Delta}{1 - H^2 - H \left(2Y \cdot \frac{d(\cos \Delta)}{dY} \right)},$$

- 5 denotando "H" la relación $(Z_s Y)$, en la que debería iniciarse la restricción de carga, y un módulo de corrección para ajustar dinámicamente la diferencia Δ para actualizar continuamente el punto operativo de tensión (V_{PO}).
7. Un aparato según cualquier reivindicación 5 o 6 que, además, comprende un módulo de determinación para determinar la cantidad de carga que ha de restringirse si dicho margen de estabilidad de la tensión se vuelve demasiado bajo.
- 10 8. Un aparato según cualquier reivindicación 5 a 7 en el que el medio de inicio comprende un módulo de inicio para iniciar la restricción controlada de carga cuando dicho margen de estabilidad de la tensión alcanza valores predeterminados y un módulo de restauración para restaurar automáticamente la carga cuando dicho margen de estabilidad de la tensión vuelve a valores fijos predeterminados.

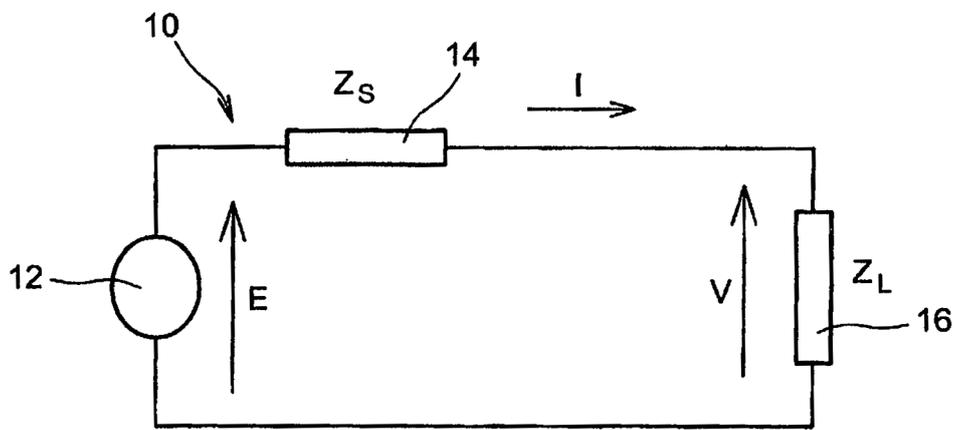


FIG. 1