



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 351 478**

51 Int. Cl.:
G01R 31/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07460017 .2**

96 Fecha de presentación : **19.07.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2017632**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.01.2009**

54

Título: **Procedimiento para localizar fallos en líneas eléctricas descompensadas con medición no sincronizada en dos extremos.**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
07.02.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
07.02.2011

73

Titular/es: **ABB RESEARCH Ltd.**
Affolternstrasse 44
8050 Zürich, CH

72

Inventor/es: **Rosolowski, Eugeniusz;**
Izykowski, Jan;
Fulczyk, Marek;
Saha, Murari y
Balcerek, Przemyslaw

74

Agente: **Zea Checa, Bernabé**

ES 2 351 478 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).

ES 2 351 478 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para localizar fallos en líneas eléctricas descompensadas con medición no sincronizada en dos extremos.

5

La presente invención se refiere a un procedimiento para localizar fallos en líneas eléctricas descompensadas con medición no sincronizada en dos extremos, que encuentra aplicación en la industria eléctrica y para líneas de transmisión o distribución aérea y por cable aéreo.

10

La técnica de localización de fallos no sincronizada en dos extremos se conoce del artículo “*Unsynchronized two-terminal fault location estimation*”, Novosel D., Hart D. G., Udren E., Garitty J., IEEE. Trans on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, págs. 130-138, Enero de 1996 y de la patente americana número US 5455776. En estos documentos se ha propuesto la solución de que pueden utilizarse diferentes tipos de componentes simétricos de las tensiones y corrientes medidas para determinar la distancia al fallo. Sin embargo, no se recomendaba el uso de componentes de la secuencia cero, lo que se traduce en que los procedimientos de localización de fallos para líneas de circuito tanto simple como doble son idénticos. El procedimiento del artículo y el documento mencionados consisten en las siguientes etapas.

15

- Determinación de la incógnita del ángulo de sincronización aplicando el modelo lineal de parámetros concentrados sin contar con las capacitancias en derivación de la línea. Esto se realiza con una solución basada en el método iterativo Newton-Raphson de la fórmula trigonométrica que implica la incógnita del ángulo de sincronización. El valor inicial para estos cálculos tiene que establecerse y para ello se ha recomendado el valor cero.

20

- Determinación de la distancia al fallo aplicando el modelo lineal de parámetros concentrados sin contar con las capacitancias en derivación de la línea.

25

- Mejora de la precisión para la determinación de la distancia al fallo aplicando la consideración simplificada del modelo lineal de parámetros distribuidos. Se realiza mediante cálculo iterativo de la distancia al fallo tomando datos de impedancia longitudinal y admitancia en derivación para las secciones de línea, que se determinan tomando el resultado de la distancia al fallo desde la iteración anterior. Al principio de los cálculos iterativos el resultado de la distancia al fallo obtenido durante la determinación de la distancia al fallo aplicando el modelo lineal de parámetros concentrados se toma como valor inicial.

30

La fórmula trigonométrica utilizada durante la determinación de la incógnita del ángulo de sincronización tiene en general dos soluciones, si se considera el intervalo de ángulos $-\pi$ a $+\pi$. No es necesario considerar intervalo de ángulos más amplio ya que la incógnita del ángulo de sincronización no es demasiado grande y seguramente se encuentre en el intervalo π a $+\pi$. La solución iterativa de la fórmula trigonométrica utilizada durante la determinación de la incógnita del ángulo de sincronización aplicando el modelo lineal de parámetros concentrados no asegura el control de qué solución se obtiene de las dos posibles soluciones. Debido a eso, en algunos casos de fallo puede darse que, como resultado de cálculos iterativos, se obtenga la solución equivocada para el ángulo de sincronización. El otro inconveniente del procedimiento conocido se basa en la utilización de un procedimiento simplificado considerando el modelo lineal de parámetros distribuidos, utilizando de nuevo los cálculos iterativos.

35

40

De la solicitud de patente americana US 2004/0167729 se conoce una solución que superar parcialmente los inconvenientes que presentan los procedimientos conocidos. En el procedimiento de acuerdo con esta invención se ha propuesto evitar cálculos iterativos del ángulo de sincronización considerando que el valor absoluto del operador de la incógnita de sincronización $|e^{j\theta}|$ de la incógnita del ángulo de sincronización δ , tiene un valor igual a 1. Como resultado de tal consideración se obtiene la fórmula cuadrática para la incógnita de la distancia al fallo para la que, en general, existen dos soluciones. En algunos casos raros, ambas soluciones de la fórmula cuadrática se encuentran en el intervalo lineal (0 a 1 en [p.u.]). Para seleccionar qué solución es válida y corresponde al caso de fallo real, se ha recomendado repetir el cálculo de la distancia al fallo, de nuevo con el uso de la fórmula cuadrática, pero tomando el otro tipo de los componentes simétricos. Como resultado del uso de tal enfoque, es decir, cancelando la incógnita del ángulo de sincronización mediante manipulaciones matemáticas, se ha asegurado el inconveniente del procedimiento conocido de US 5455776 y el artículo de Novosel D., Hart D. G., Udren E., Garitty J. En lo que se refiere a no controlar el resultado conseguido para el ángulo de sincronización.

45

50

55

Otra mejora del procedimiento de localización de fallos utilizando mediciones no sincronizadas en dos extremos es conocida del artículo “*Accurate location of faults on power transmission lines with use of two-end unsynchronized measurements*” Izykowski J., Molag R., Rosolowski E., Saha M.M., IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, NO. 2, Abril de 2006, págs. 627-633. El procedimiento según el documento asegura el control de qué solución se obtiene para la incógnita del ángulo de sincronización de dos posibles soluciones. Tras los cálculos iniciales, basados en considerar el modelo lineal de parámetros concentrados sin contar con las capacitancias en derivación de la línea, se realizan los cálculos basados en el método iterativo Newton-Raphson. En estos cálculos iterativos el ángulo de sincronización y la distancia al fallo se tratan como incógnitas y el modelo lineal de parámetros distribuidos se considera de manera rigurosa. Los resultados de los cálculos iniciales se toman como valores iniciales para los cálculos iterativos. Los cálculos iterativos se realizan en las matrices respectivas y no son simples.

60

65

ES 2 351 478 T3

De la solicitud de patente internacional WO02/048726 se conoce un procedimiento y un dispositivo para la localización de fallos utilizando medición no sincronizada de tensiones y corrientes trifásicas adquiridas en los terminales de la línea sin sincronización. Se determinan unos fasores para componentes simétricos de las cantidades de medición y se utilizan en el algoritmo de localización de fallos. De acuerdo con una realización, unos fasores de secuencia positiva de cantidades post-fallo se utilizan para la estimación de la distancia al fallo y es distintiva de manera que se lleva a cabo la estimación de una distancia al fallo sin que implique esencialmente técnicas iterativas. En esta realización, la etapa del algoritmo de localización de fallos se realiza con independencia del tipo de fallo. En etapas posteriores puede obtenerse el tipo de fallo. De acuerdo con otra realización de la invención, al producirse un fallo se determina el tipo de fallo. Si se determina que no se trata de un fallo trifásico equilibrado se utilizan fasores de secuencia negativa para la estimación de la distancia al fallo. Por otra parte, si se trata de un fallo trifásico equilibrado se utilizan los fasores de secuencia positiva incremental.

De la solicitud de patente internacional WO03/044547 se conoce un procedimiento para localizar un fallo en una sección de una línea de transmisión utilizando mediciones de corriente, tensión y ángulos entre las fases en un primer A y un segundo extremo B de dicha sección. La invención presentada se caracteriza por las etapas de, tras producirse un fallo a lo largo de la sección, calcular una distancia del extremo A o B al fallo que depende de una corriente de fallo medida en uno de dicho primer y segundo extremo y tensiones de fase medidas tanto en dicho primer como segundo extremo A y B, donde la distancia al fallo se calcula desde el extremo A o B donde se mide el fallo. La invención es particularmente adecuada cuando se satura un transformador de corriente en cualquiera del primer A o segundo extremo B. Si es así, entonces se calcula una distancia a un fallo que depende de una corriente de fallo medida en el extremo no afectado y las tensiones de fase medidas tanto en el extremo afectado como en el extremo no afectado.

De la solicitud de patente sueca no SE528863, publicada también como WO2007/079990 se conoce un procedimiento para localizar un fallo en la transmisión de energía o línea de distribución en dos terminales que comprende las etapas de recibir mediciones de las tres corrientes de fase de ambos terminales, recibir mediciones de las tres tensiones de fase de un terminal de línea, recibir parámetros de la línea y recibir el tipo de fallo. En base a esta información, se determina la distancia al fallo desde un terminal donde se midieron las tensiones de fase y se envía. Como que sólo se necesitan las tensiones de fase del terminal de línea, la funcionalidad de un dispositivo, en particular, puede usarse un relé diferencial de corriente para determinar la distancia al fallo en modo fuera de línea.

La esencia del procedimiento de la invención para localizar fallos en una sección de por lo menos una línea de transmisión consiste en lo siguiente:

- medir la tensión y corrientes en ambos extremos A y B de la sección,
- obtener el fasor de las tensiones de secuencia positiva \underline{V}_{A1} , \underline{V}_{B1} medidas en los extremos A y B, respectivamente,
- obtener el fasor de las corrientes de secuencia positiva \underline{I}_{A1} , \underline{I}_{B1} medidas en los extremos A y B, respectivamente,
- determinar si existe un fallo trifásico equilibrado o no, y
- si no existe fallo trifásico equilibrado entonces iniciar la acción para las cantidades de secuencia positiva y negativa y un modelo lineal de parámetros distribuido según una subrutina I que está definida en las siguientes etapas:
 - obtener el fasor de las tensiones de secuencia negativa \underline{V}_{A2} , \underline{V}_{B2} medidas en los extremos A y B, respectivamente,
 - obtener el fasor de las corrientes de secuencia negativa \underline{I}_{A2} , \underline{I}_{B2} medidas en los extremos A y B, respectivamente,
 - utilizar un diagrama de circuito equivalente para las cantidades de secuencia positiva y negativa y el modelo lineal de parámetros distribuidos, determinar el ángulo de sincronización δ en términos de un operador de sincronización $e^{j\delta}$ a partir de la fórmula:

$$\underline{B}_2[e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_1e^{j\delta} + \underline{B}_0 = 0,$$

donde:

$$\underline{B}_2 = \underline{G}_1\underline{S}_2 - \underline{G}_2\underline{S}_1,$$

$$\underline{B}_1 = \underline{G}_1\underline{T}_2 + \underline{H}_1\underline{S}_2 - \underline{G}_2\underline{T}_1 - \underline{H}_2\underline{S}_1,$$

ES 2 351 478 T3

$$\underline{B}_0 = \underline{H}_1 \underline{T}_2 - \underline{H}_2 \underline{T}_1,$$

$$\underline{G}_1 = \underline{V}_{A1},$$

$$\underline{H}_1 = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1},$$

$$\underline{S}_1 = -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A1},$$

$$\underline{T}_1 = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1},$$

$$\underline{G}_2 = \underline{V}_{A2},$$

$$\underline{H}_2 = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B2} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B2},$$

$$\underline{S}_2 = -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A2},$$

$$\underline{T}_2 = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B2} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B2},$$

- resolviendo la ecuación cuadrática $\underline{B}_2 [e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_1 e^{j\delta} + \underline{B}_0 = 0$, se obtienen las dos soluciones $e^{j\delta_1}$ y $e^{j\delta_2}$,

- seleccionar $e^{j\delta_1}$ como resultado válido para el operador de sincronización $e^{j\delta}$ si cumple la siguiente relación:
 $|1 - e^{j\delta_1}| < |1 - e^{j\delta_2}|$

o seleccionar $e^{j\delta_2}$ como resultado válido para el operador de sincronización $e^{j\delta}$ si cumple la siguiente relación:
 $|1 - e^{j\delta_1}| > |1 - e^{j\delta_2}|$,

- la solución válida $e^{j\delta}$ se utiliza para determinar una distancia d al fallo de acuerdo con una fórmula:

$$d = \frac{1}{(\underline{\gamma}_{1L} \lambda)} \tanh^{-1} \left(\frac{\underline{V}_{B1} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) - \underline{V}_{A1} e^{j\delta}}{\underline{V}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{B1} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A1} e^{j\delta}} \right)$$

donde:

λ es la longitud de la línea,

$\underline{\gamma}_{1L} = \sqrt{\underline{Z}'_{1L} \underline{Y}'_{1L}}$ es la constante de propagación de la línea para la secuencia positiva,

$\underline{Z}_{c1L} = \sqrt{\underline{Z}'_{1L} / \underline{Y}'_{1L}}$ es la impedancia característica de la línea para la secuencia positiva,

\underline{Z}'_{1L} es la impedancia de la línea para la secuencia positiva,

\underline{Y}'_{1L} es la admitancia de la línea para la secuencia positiva,

$e^{j\delta}$ es un resultado válido que se selecciona como $e^{j\delta_1}$ o $e^{j\delta_2}$

ES 2 351 478 T3

- si existe un fallo trifásico equilibrado entonces iniciar la acción para las cantidades de secuencia positiva y positiva incremental y un modelo lineal de parámetros distribuido según una subrutina II que está definida en las siguientes etapas:

- 5 - obtener el fasor de las tensiones de secuencia positiva incremental $\underline{V}_{\Delta\Delta 1}$, $\underline{V}_{B\Delta 1}$ medidas en los extremos A y B, respectivamente,
- obtener el fasor de las corrientes de secuencia positiva incremental $\underline{I}_{\Delta\Delta 1}$, $\underline{I}_{B\Delta 1}$ medidas en los extremos A y B,
- 10 - utilizar un diagrama de circuito equivalente para las cantidades de secuencia positiva y positiva incremental y el modelo lineal de parámetros distribuidos, determinar el ángulo de sincronización δ en términos de $e^{j\delta}$ a partir de la fórmula:

$$15 \quad \underline{B}_5 [e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_4 e^{j\delta} + \underline{B}_3 = 0 ,$$

donde:

$$20 \quad \underline{B}_5 = \underline{G}_3 \underline{S}_{\Delta 1} - \underline{G}_{\Delta 1} \underline{S}_3 ,$$

$$25 \quad \underline{B}_4 = \underline{G}_3 \underline{T}_{\Delta 1} + \underline{H}_3 \underline{S}_{\Delta 1} - \underline{G}_{\Delta 1} \underline{T}_3 - \underline{H}_{\Delta 1} \underline{S}_3 ,$$

$$30 \quad \underline{B}_3 = \underline{H}_3 \underline{T}_{\Delta 1} - \underline{H}_{\Delta 1} \underline{T}_3 ,$$

$$\underline{G}_3 = \underline{V}_{\Delta 1} ,$$

$$35 \quad \underline{H}_3 = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1} ,$$

$$40 \quad \underline{S}_3 = -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A1} ,$$

$$\underline{T}_3 = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} ,$$

$$45 \quad \underline{G}_{\Delta 1} = \underline{V}_{\Delta\Delta 1} ,$$

$$50 \quad \underline{H}_{\Delta 1} = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B\Delta 1} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B\Delta 1} ,$$

$$\underline{S}_{\Delta 1} = -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{\Delta\Delta 1} ,$$

$$55 \quad \underline{T}_{\Delta 1} = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B\Delta 1} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B\Delta 1} ,$$

60 - resolviendo la ecuación cuadrática $\underline{B}_5 [e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_4 e^{j\delta} + \underline{B}_3 = 0$, se obtienen las dos soluciones $e^{j\delta_3}$ y $e^{j\delta_4}$,

- seleccionar $e^{j\delta_3}$ como resultado válido para el operador de sincronización $e^{j\delta}$ si cumple la siguiente relación:
 $|1 - |e^{j\delta_3}|| < |1 - |e^{j\delta_4}||$

65 o seleccionar $e^{j\delta_4}$ como resultado válido para el operador de sincronización $e^{j\delta}$ si cumple la siguiente relación:
 $|1 - |e^{j\delta_3}|| > |1 - |e^{j\delta_4}||$,

ES 2 351 478 T3

- la solución válida $e^{j\delta}$ se utiliza para determinar una distancia d al fallo de acuerdo con una fórmula:

$$d = \frac{1}{(\gamma_{\text{IL}} \lambda)} \tanh^{-1} \left(\frac{V_{\text{B1}} \cosh(\gamma_{\text{IL}} \lambda) - Z_{\text{cIL}} I_{\text{B1}} \sinh(\gamma_{\text{IL}} \lambda) - V_{\text{A1}} e^{j\delta}}{V_{\text{B1}} \sinh(\gamma_{\text{IL}} \lambda) - Z_{\text{cIL}} I_{\text{B1}} \cosh(\gamma_{\text{IL}} \lambda) - Z_{\text{cIL}} I_{\text{A1}} e^{j\delta}} \right)$$

donde:

λ es la longitud de la línea,

$\gamma_{\text{IL}} = \sqrt{Z'_{\text{IL}} Y'_{\text{IL}}}$ es la constante de propagación de la línea para la secuencia positiva,

$Z_{\text{cIL}} = \sqrt{Z'_{\text{IL}} / Y'_{\text{IL}}}$ es la impedancia característica de la línea para la secuencia positiva,

Z'_{IL} es la impedancia de la línea para la secuencia positiva,

Y'_{IL} es la admitancia de la línea para la secuencia positiva,

$e^{j\delta}$ es un resultado válido que se selecciona como $e^{j\delta_3}$ o $e^{j\delta_4}$.

Un relé de protección equipado con un localizador de fallos FL que comprende medios para llevar a cabo las etapas de la reivindicación 1.

Un producto de programa de ordenador que comprende código de programa de ordenador que cuando se ejecuta en un dispositivo informático realiza las etapas de un procedimiento según la reivindicación 1.

La ventaja del procedimiento de acuerdo con la invención es la superación de todas las limitaciones e inconvenientes de los procedimientos conocidos. Se evitan totalmente los cálculos iterativos y el modelo lineal de parámetros distribuidos se considera desde el primer momento. La simplicidad de cálculos queda asegurada por el uso simultáneo de dos tipos de componentes simétricos de las señales de tensión y corriente medidas. Dicho uso simultáneo de dos tipos de componentes simétricos de las señales de tensión y corriente medidas no se aplica en ninguna otra técnica conocida de localización de fallos. En particular, para todos los fallos excepto los fallos trifásicos equilibrados se utilizan las cantidades de secuencia positiva y secuencia negativa, y para los fallos trifásicos equilibrados se utilizan las cantidades de secuencia positiva y secuencia positiva incremental. La presente invención se caracteriza por el uso de cálculos muy simples (solución de la fórmula cuadrática para números complejos) y al mismo tiempo el modelo lineal de parámetros distribuidos se aplica rigurosamente, es decir, sin simplificaciones. El ángulo de sincronización se determina con exactitud, considerando de manera rigurosa el modelo lineal de parámetros distribuidos, lo que permite una sincronización analítica exacta de las mediciones adquiridas de manera asíncrona. La distancia al fallo se calcula entonces como en el caso en el que se utilizan mediciones sincronizadas. Por lo tanto, la precisión de la posición del fallo según el procedimiento de la invención se encuentra al mismo nivel que en el caso en el que se utilizan mediciones sincronizadas. Como resultado de esto, no se requiere sincronización por GPS para el procedimiento de la invención y no existe en absoluto ningún deterioro en la precisión de la posición del fallo.

El procedimiento de acuerdo con la presente invención se explica en una realización mostrada en el dibujo, en el que la figura 1 presenta un diagrama del general de la red eléctrica para la implementación del procedimiento de la invención, la figura 2 es un diagrama de circuito equivalente para un modelo de parámetros distribuidos de la línea de transmisión A-B bajo fallo en un punto F, para la secuencia positiva, la figura 3 es un diagrama de circuito equivalente para un modelo de parámetros distribuidos de la línea de transmisión A-B bajo fallo en un punto F, para la secuencia negativa, la figura 4 es un diagrama de circuito equivalente para un modelo de parámetros distribuidos de la línea de transmisión A-B bajo fallo en un punto F, para la secuencia positiva incremental, la figura 5 muestra un diagrama de flujo del ejemplo de un algoritmo de posiciones de fallo de acuerdo con la presente invención.

En la figura 1 se muestra la red eléctrica para la realización del procedimiento de la invención. La red tiene dos terminales A, al principio de la línea y B en el extremo de la línea. Entre los terminales, a lo largo de la longitud de la línea l , a la distancia al fallo d del terminal A de la línea está situado un punto de fallo F. El localizador de fallo FL se encuentra situado en el terminal A, no obstante también puede encontrarse situado en el terminal B, o como dispositivo independiente no asociado a los terminales de la línea, lo cual no se ha representado en el dibujo.

ES 2 351 478 T3

En las condiciones de explotación el localizador de fallos se coloca en un relé de protección que no se muestra en los dibujos.

El procedimiento de acuerdo con la invención puede llevarse a cabo tal como se ilustra en la figura 5 en las siguientes etapas.

Etapa 101

Los datos digitales del fasor de las tensiones trifásicas \underline{V}_A y las corrientes trifásicas \underline{I}_A del terminal A y los datos digitales del fasor de las tensiones trifásicas \underline{V}_B y las corrientes trifásicas \underline{I}_B del terminal B, la impedancia \underline{Z}'_{IL} y la admitancia \underline{Y}'_{IL} de la línea para la secuencia positiva, la longitud de la línea l , y el tipo de fallo en términos de si se trata de un fallo trifásico no equilibrado o equilibrado, son suministrados como datos de entrada del *localizador de fallos FL*.

Etapa 102

En esta etapa se determinan las cantidades de secuencia positiva de la tensión y las corrientes \underline{V}_{A1} , \underline{I}_{A1} , \underline{V}_{B1} , \underline{I}_{B1} de ambos terminales. Los detalles de dicho cálculo son conocidos para los expertos en la materia.

Etapa 103

En esta etapa basada en un análisis del modelo lineal de parámetros distribuidos de las líneas de transmisión con fallo para las cantidades de secuencia positiva, representado en la figura 2 la secuencia positiva de la tensión en el punto de fallo F se determina tal como sigue:

La tensión de secuencia positiva en el punto de fallo F \underline{V}_{F1}^A , visto desde el lado A (superíndice: A) es igual a:

$$\underline{V}_{F1}^A = \underline{V}_{A1} e^{j\delta} \cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda d) - \underline{Z}_{cIL} \underline{I}_{A1} e^{j\delta} \sinh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda d) \quad (1)$$

donde:

$e^{j\delta}$ - incógnita del operador de sincronización (se suponen las mediciones en el bus B como la base),

$\underline{Z}_{cIL} = \sqrt{\underline{Z}'_{IL} / \underline{Y}'_{IL}}$ - impedancia característica para la secuencia positiva,

$\underline{\gamma}_{IL} = \sqrt{\underline{Z}'_{IL} \underline{Y}'_{IL}}$ - constante de propagación de la línea para la secuencia positiva,

\underline{V}_{A1} , \underline{I}_{A1} - fasores de la tensión y las corrientes de secuencia positiva, medidas en la subestación A,

\underline{Z}'_{IL} - impedancia de la línea para la secuencia positiva,

\underline{Y}'_{IL} - admitancia de la línea para la secuencia positiva,

l - longitud de la línea,

d - distancia al fallo (pu).

La tensión de secuencia positiva en el punto de fallo F, visto desde el lado B (superíndice: B) es igual a:

$$\underline{V}_{F1}^B = \underline{V}_{B1} \cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda (1-d)) - \underline{Z}_{cIL} \underline{I}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda (1-d)) \quad (2)$$

lo cual, tras tener en cuenta que:

$$\cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda (1-d)) = \cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) \cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda d) - \sinh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) \sinh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda d) \quad (3a)$$

ES 2 351 478 T3

$$\sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda(1-d)) = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) \quad (3b)$$

5 puede presentarse como:

$$\begin{aligned} \underline{V}_{F1}^B = & \left(\cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1} - \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} \right) \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) \\ & + \left(-\underline{V}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) + \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} \right) \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) \end{aligned} \quad (4)$$

Se han de comparar las tensiones (1) y (4):

$$\underline{V}_{F1}^A = \underline{V}_{F1}^B \quad (5)$$

Al realizar esta comparación se obtiene

$$(\underline{G}_1 e^{j\delta} + \underline{H}_1) \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) + (\underline{S}_1 e^{j\delta} + \underline{T}_1) \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) = 0 \quad (6)$$

25 donde:

$$\underline{G}_1 = \underline{V}_{A1},$$

$$\underline{H}_1 = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1},$$

$$\underline{S}_1 = -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A1},$$

$$\underline{T}_1 = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1}.$$

Etapa 104

45 En esta etapa se determina si el fallo es un fallo trifásico equilibrado o un fallo equilibrado en base a los datos de entrada, la subrutina I, para las cantidades de secuencia positiva y negativa y un modelo lineal de parámetros distribuidos o la subrutina II para las cantidades de secuencia positiva y positiva incremental y un modelo lineal de parámetros distribuidos se ejecuta.

50 Etapa 105a en subrutina I

En esta etapa se determinan las cantidades de secuencia negativa de las señales de tensión y corrientes $\underline{V}_{A2}, \underline{I}_{A2}, \underline{V}_{B2}, \underline{I}_{B2}$ de ambos terminales de línea A, B. Los detalles de estos cálculos son conocidos para los expertos en la materia.

55 Etapa 106a en subrutina I

60 En esta etapa basada en el análisis del modelo lineal de parámetros distribuidos de la línea de transmisión con fallo para cantidades de secuencia negativa representada en la figura 3, la secuencia negativa de la tensión en el punto de fallo F se determina como sigue:

En futuras consideraciones se supone que la impedancia característica de la línea para la secuencia negativa \underline{Z}_{c2L} es igual a la impedancia para la secuencia positiva \underline{Z}_{c1L} , pues se cumple para líneas reales:

$$\underline{Z}_{c2L} = \underline{Z}_{c1L} \quad (7)$$

ES 2 351 478 T3

En futuras consideraciones se supone que la constante de propagación de la línea para la secuencia negativa $\underline{\gamma}_{2L}$ es igual a la constante de propagación de la línea para la secuencia positiva $\underline{\gamma}_{1L}$:

$$5 \quad \underline{\gamma}_{1L}:$$

$$\underline{\gamma}_{2L} = \underline{\gamma}_{1L} \quad (8)$$

10

La tensión de la secuencia negativa en el punto de fallo F - \underline{V}_{F2}^A , visto desde el lado A (superíndice: A) es igual a:

$$15 \quad \underline{V}_{F2}^A = \underline{V}_{A2} e^{j\delta} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A2} e^{j\delta} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) \quad (9)$$

donde:

20

\underline{V}_{A2} , \underline{I}_{A2} - fasores de la tensión y corrientes de secuencia negativa, medidas en la subestación A.

La tensión de secuencia negativa en el punto de fallo F, visto desde el lado B (superíndice: B) es igual a:

25

$$\underline{V}_{F2}^B = \underline{V}_{B2} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda (1-d)) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{B2} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda (1-d)) \quad (10)$$

30

lo que, tras considerar (3a) y (3b) puede presentarse como:

35

$$\underline{V}_{F2}^B = \left(\cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B2} - \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B2} \right) \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) + \left(-\underline{V}_{B2} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) + \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B2} \right) \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) \quad (11)$$

40

Se han de comparar las tensiones (9) y (11):

45

$$\underline{V}_{F2}^A = \underline{V}_{F2}^B \quad (12)$$

Realizando esta comparación se obtiene:

50

$$(\underline{G}_2 e^{j\delta} + \underline{H}_2) \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) + (\underline{S}_2 e^{j\delta} + \underline{T}_2) \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) = 0, \quad (13)$$

donde:

55

$$\underline{G}_2 = \underline{V}_{A2},$$

60

$$\underline{H}_2 = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B2} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B2},$$

$$\underline{S}_2 = -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A2},$$

65

$$\underline{T}_2 = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B2} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B2}.$$

ES 2 351 478 T3

107a en subrutina I

En esta etapa se calculan los coeficientes \underline{B}_2 , \underline{B}_1 , \underline{B}_0 comparando la tensión en el punto de fallo F para las cantidades de secuencia positiva y negativa:

5 Combinando (6) y (13) se obtiene la ecuación que tras reorganizar da la siguiente fórmula cuadrática para la incógnita del operador de sincronización $e^{j\delta}$, en el cual no está implicada la incógnita de la distancia al fallo d:

$$10 \quad \underline{B}_2 [e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_1 e^{j\delta} + \underline{B}_0 = 0 \quad (14)$$

donde

$$15 \quad \begin{aligned} \underline{B}_2 &= \underline{G}_1 \underline{S}_2 - \underline{G}_2 \underline{S}_1, \\ \underline{B}_1 &= \underline{G}_1 \underline{T}_2 + \underline{H}_1 \underline{S}_2 - \underline{G}_2 \underline{T}_1 - \underline{H}_2 \underline{S}_1, \\ 20 \quad \underline{B}_0 &= \underline{H}_1 \underline{T}_2 - \underline{H}_2 \underline{T}_1. \end{aligned}$$

Resolviendo la ecuación cuadrática (14) se obtienen dos soluciones $e^{j\delta_1}$ y $e^{j\delta_2}$.

25 Etapa 108a en subrutina I

En esta etapa se seleccionan los resultados válidos. Esta selección se realiza en base al siguiente criterio:

30 - elegir $e^{j\delta_1}$ como resultado válido para el operador de sincronización $e^{j\delta}$ si se cumple la siguiente relación:
 $|1 - e^{j\delta_1}| < |1 - e^{j\delta_2}|$

o

35 - elegir $e^{j\delta_2}$ como resultado válido para el operador de sincronización $e^{j\delta}$ si se cumple la siguiente relación:
 $|1 - e^{j\delta_1}| > |1 - e^{j\delta_2}|$.

Además, para confirmar la selección, los valores del ángulo de sincronización δ_1 , δ_2 se determinan simplemente como: $\delta_1 = \text{ángulo}(e^{j\delta_1})$, y $\delta_2 = \text{ángulo}(e^{j\delta_2})$, y se enfrenta al hecho de que para resultados válidos el módulo del ángulo de sincronización seleccionado δ , se vuelva el valor inferior.

Etapa 109

45 En esta etapa la distancia al fallo d se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$50 \quad d = \frac{1}{(\underline{\gamma}_{\underline{IL}} \lambda)} \tanh^{-1} \left(\frac{\underline{V}_{\underline{B1}} \cosh(\underline{\gamma}_{\underline{IL}} \lambda) - \underline{Z}_{\underline{c1L}} \underline{I}_{\underline{B1}} \sinh(\underline{\gamma}_{\underline{IL}} \lambda) - \underline{V}_{\underline{A1}} e^{j\delta}}{\underline{V}_{\underline{B1}} \sinh(\underline{\gamma}_{\underline{IL}} \lambda) - \underline{Z}_{\underline{c1L}} \underline{I}_{\underline{B1}} \cosh(\underline{\gamma}_{\underline{IL}} \lambda) - \underline{Z}_{\underline{c1L}} \underline{I}_{\underline{A1}} e^{j\delta}} \right) \quad (15)$$

55 Etapa 105b en subrutina II

En esta etapa se determinan las cantidades de la secuencia positiva incremental de las señales de tensión y corriente $\underline{V}_{\underline{AA1}}$, $\underline{I}_{\underline{AA1}}$, $\underline{V}_{\underline{BA1}}$, $\underline{I}_{\underline{BA1}}$ de ambos terminales de línea A, B. Los detalles de dicho cálculo son conocido para los expertos en la materia.

60

Etapa 106b en subrutina II

65 En esta etapa basada en el análisis del modelo lineal de parámetros distribuidos de las líneas de transmisión con fallo para la secuencia positiva incremental representada en la figura 4 la secuencia positiva incremental de la tensión en el punto de fallo F se determina como sigue:

ES 2 351 478 T3

la tensión de la secuencia positiva incremental en el punto de fallo F- $\underline{V}_{F\Delta 1}^A$ visto desde el lado A (superíndice: A) es igual a:

$$\underline{V}_{F\Delta 1}^A = \underline{V}_{A\Delta 1} e^{j\delta} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A\Delta 1} e^{j\delta} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) \quad (16)$$

donde:

$\underline{V}_{A\Delta 1}$, $\underline{I}_{A\Delta 1}$ - fasores de la tensión y corrientes de la secuencia positiva incremental, medidas en la subestación A.

La tensión de la secuencia positiva incremental en el punto de fallo F, visto desde el lado B (superíndice: B) es igual a:

$$\underline{V}_{F\Delta 1}^B = \underline{V}_{B\Delta 1} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda (1-d)) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{B\Delta 1} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda (1-d)) \quad (17)$$

que, tras considerar (3a) y (3b) puede presentarse como:

$$\underline{V}_{F\Delta 1}^B = \left(\cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B\Delta 1} - \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B\Delta 1} \right) \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) + \left(-\underline{V}_{B\Delta 1} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) + \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B\Delta 1} \right) \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) \quad (18)$$

Se han de comparar las tensiones (16) y (18):

$$\underline{V}_{F\Delta 1}^A = \underline{V}_{F\Delta 1}^B \quad (19)$$

Realizando esta comparación y reorganizando (3b) se obtiene:

$$(\underline{G}_{\Delta 1} e^{j\delta} + \underline{H}_{\Delta 1}) \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) + (\underline{S}_{\Delta 1} e^{j\delta} + \underline{T}_{\Delta 1}) \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda d) = 0, \quad (20)$$

donde:

$$\begin{aligned} \underline{G}_{\Delta 1} &= \underline{V}_{A\Delta 1}, \\ \underline{H}_{\Delta 1} &= \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B\Delta 1} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B\Delta 1}, \\ \underline{S}_{\Delta 1} &= -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A\Delta 1}, \\ \underline{T}_{\Delta 1} &= \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B\Delta 1} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B\Delta 1}. \end{aligned}$$

Se supuso en la consideración que la constante de propagación de la línea para la secuencia positiva incremental $\underline{\gamma}_{\Delta 1L}$ es igual a la constante de propagación de la línea para la secuencia positiva $\underline{\gamma}_{1L}$.

107b en subrutina II

En esta etapa se calculan los coeficientes $\underline{B}_5 [e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_4 e^{j\delta} + \underline{B}_3 = 0$, comparando la tensión en el punto de fallo F para la secuencia positiva y positiva incremental:

ES 2 351 478 T3

Combinando (6) y (20) se obtiene el resultado que tras reorganizar da la siguiente fórmula cuadrática para la incógnita del operador de sincronización en el cual no está implicada la incógnita de la distancia al fallo d:

$$\begin{aligned}
 5 \quad & \underline{B}_5 [e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_4 e^{j\delta} + \underline{B}_3 = 0, & (21) \\
 & \underline{B}_5 = \underline{G}_3 \underline{S}_{\Delta 1} - \underline{G}_{\Delta 1} \underline{S}_3, \\
 10 \quad & \underline{B}_4 = \underline{G}_3 \underline{T}_{\Delta 1} + \underline{H}_3 \underline{S}_{\Delta 1} - \underline{G}_{\Delta 1} \underline{T}_3 - \underline{H}_{\Delta 1} \underline{S}_3, \\
 & \underline{B}_3 = \underline{H}_3 \underline{T}_{\Delta 1} - \underline{H}_{\Delta 1} \underline{T}_3.
 \end{aligned}$$

15 Resolviendo la ecuación cuadrática (21) se obtienen las dos soluciones $e^{j\delta_3}$ y $e^{j\delta_4}$.

Etapa 108b en subrutina II

20 En esta etapa se seleccionan los resultados válidos. Esta selección se realiza en base al siguiente criterio:

- seleccionar $e^{j\delta_3}$ como resultado válido para el ángulo de sincronización $e^{j\delta}$ si se cumple la siguiente relación:
 $|1 - |e^{j\delta_3}|| < |1 - |e^{j\delta_4}||$

25 o

- seleccionar $e^{j\delta_4}$ como resultado válido para el operador de sincronización $e^{j\delta}$ si se cumple la siguiente relación:
 $|1 - |e^{j\delta_3}|| > |1 - |e^{j\delta_4}||$.

30 Adicionalmente, para confirmar la selección, los valores del ángulo de sincronización δ_3 , δ_4 se determinan simplemente como $\delta_3 = \text{ángulo}(e^{j\delta_3})$, y $\delta_4 = \text{ángulo}(e^{j\delta_4})$, y se confrontan al hecho de que para resultados válidos el módulo del ángulo de sincronización seleccionado δ llega a ser el valor inferior.

Etapa 109

35 En esta etapa la distancia al fallo d se calcula a partir de la siguiente ecuación (15):

$$40 \quad d = \frac{1}{(\underline{\gamma}_{IL} \lambda)} \tanh^{-1} \left(\frac{\underline{V}_{B1} \cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) - \underline{Z}_{cIL} \underline{I}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) - \underline{V}_{A1} e^{j\delta}}{\underline{V}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) - \underline{Z}_{cIL} \underline{I}_{B1} \cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) - \underline{Z}_{cIL} \underline{I}_{A1} e^{j\delta}} \right)$$

45 Un producto de programa de ordenador que comprende un código de programa de ordenador que cuando se ejecuta en un dispositivo informático realiza las etapas de un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-2.

50

55

60

65

ES 2 351 478 T3

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para localizar fallos en una sección de por lo menos una línea de transmisión que comprende:

- 5
- medir la tensión y corrientes en ambos extremos (A) y (B) de la sección,
 - obtener el fasor de las tensiones de secuencia positiva (\underline{V}_{A1} , \underline{V}_{B1}) medidas en los extremos (A) y (B), respectivamente,
- 10
- obtener el fasor de las corrientes de secuencia positiva (\underline{I}_{A1} , \underline{I}_{B1}) medidas en los extremos A y B, respectivamente,
 - determinar si existe un fallo trifásico equilibrado o no, **caracterizado** por el hecho de que:
- 15
- si no existe un fallo trifásico equilibrado entonces iniciar la acción para las cantidades de secuencia positiva y negativa y un modelo lineal de parámetros distribuido según una subrutina I que está definida en las siguientes etapas:
- 20
- obtener el fasor de las tensiones de secuencia negativa (\underline{V}_{A2} , \underline{V}_{B2}) medidas en los extremos (A) y (B), respectivamente,
 - obtener el fasor de las corrientes de secuencia negativa (\underline{I}_{A2} , \underline{I}_{B2}) medidas en los extremos (A) y (B), respectivamente,
- 25
- utilizar un diagrama de circuito equivalente para las cantidades de secuencia positiva y negativa y el modelo lineal de parámetros distribuidos, determinar el ángulo de sincronización (δ) en términos de un operador de sincronización ($e^{j\delta}$) a partir de la fórmula:

30

$$\underline{B}_2[e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_1e^{j\delta} + \underline{B}_0 = 0 ,$$

donde:

35

$$\underline{B}_2 = \underline{G}_1\underline{S}_2 - \underline{G}_2\underline{S}_1 ,$$

40

$$\underline{B}_1 = \underline{G}_1\underline{T}_2 + \underline{H}_1\underline{S}_2 - \underline{G}_2\underline{T}_1 - \underline{H}_2\underline{S}_1 ,$$

45

$$\underline{B}_0 = \underline{H}_1\underline{T}_2 - \underline{H}_2\underline{T}_1 ,$$

$$\underline{G}_1 = \underline{V}_{A1} ,$$

50

$$\underline{H}_1 = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1} ,$$

55

$$\underline{S}_1 = -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A1} ,$$

$$\underline{T}_1 = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} ,$$

60

$$\underline{G}_2 = \underline{V}_{A2} ,$$

65

$$\underline{H}_2 = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B2} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B2} ,$$

ES 2 351 478 T3

$$\underline{S}_2 = -\underline{Z}_{cIL} \underline{I}_{A2} ,$$

$$5 \quad \underline{T}_2 = \sinh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) \underline{V}_{B2} - \underline{Z}_{cIL} \cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) \underline{I}_{B2} ,$$

- resolver la ecuación cuadrática $\underline{B}_5 [e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_4 e^{j\delta} + \underline{B}_3 = 0$, obteniéndose así dos soluciones ($e^{j\delta_1}$) y ($e^{j\delta_2}$),

10 - seleccionar ($e^{j\delta_1}$) como resultado válido para el operador de sincronización ($e^{j\delta}$) si cumple la siguiente relación:
 $|1 - e^{j\delta_1}| < |1 - e^{j\delta_2}|$

o seleccionar ($e^{j\delta_2}$) como resultado válido para el operador de sincronización ($e^{j\delta}$) si cumple la siguiente relación:
 $|1 - e^{j\delta_1}| > |1 - e^{j\delta_2}|$,

15 - la solución válida ($e^{j\delta}$) se utiliza para determinar una distancia (d) al fallo de acuerdo con una fórmula:

$$20 \quad d = \frac{1}{(\underline{\gamma}_{IL} \lambda)} \tanh^{-1} \left(\frac{\underline{V}_{B1} \cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) - \underline{Z}_{cIL} \underline{I}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) - \underline{V}_{A1} e^{j\delta}}{\underline{V}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) - \underline{Z}_{cIL} \underline{I}_{B1} \cosh(\underline{\gamma}_{IL} \lambda) - \underline{Z}_{cIL} \underline{I}_{A1} e^{j\delta}} \right)$$

25 donde:

λ es la longitud de la línea,

30 $\underline{\gamma}_{IL} = \sqrt{\underline{Z}'_{IL} \underline{Y}'_{IL}}$ es la constante de propagación de la línea para la secuencia positiva,

$\underline{Z}_{cIL} = \sqrt{\underline{Z}'_{IL} / \underline{Y}'_{IL}}$ es la impedancia característica de la línea para la secuencia positiva,

35 \underline{Z}'_{IL} es la impedancia de la línea para la secuencia positiva,

\underline{Y}'_{IL} es la admitancia de la línea para la secuencia positiva,

40 $e^{j\delta}$ es un resultado válido que se selecciona como $e^{j\delta_1}$ o $e^{j\delta_2}$

- si existe un fallo trifásico equilibrado entonces iniciar la acción para las cantidades de secuencia positiva y positiva incremental y un modelo lineal de parámetros distribuido según una subrutina II que está definida en las siguientes etapas:

45 - obtener el fasor de las tensiones de secuencia positiva incremental ($\underline{V}_{A\Delta 1}$, $\underline{V}_{B\Delta 1}$) medidas en los extremos (A) y (B), respectivamente,

- obtener el fasor de las corrientes de secuencia positiva incremental ($\underline{I}_{A\Delta 1}$, $\underline{I}_{B\Delta 1}$) medidas en los extremos (A) y (B), respectivamente,

50 - utilizar un diagrama de circuito equivalente para las cantidades de secuencia positiva y positiva incremental y el modelo lineal de parámetros distribuidos, determinar el ángulo de sincronización (δ) en términos de un operador de sincronización ($e^{j\delta}$) a partir de la fórmula:

$$55 \quad \underline{B}_5 [e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_4 e^{j\delta} + \underline{B}_3 = 0 ,$$

60 donde:

$$\underline{B}_5 = \underline{G}_3 \underline{S}_{\Delta 1} - \underline{G}_{\Delta 1} \underline{S}_3 ,$$

$$65 \quad \underline{B}_4 = \underline{G}_3 \underline{T}_{\Delta 1} + \underline{H}_3 \underline{S}_{\Delta 1} - \underline{G}_{\Delta 1} \underline{T}_3 - \underline{H}_{\Delta 1} \underline{S}_3 ,$$

ES 2 351 478 T3

$$\underline{B}_3 = \underline{H}_3 \underline{T}_{\Delta 1} - \underline{H}_{\Delta 1} \underline{T}_3 ,$$

$$\underline{G}_3 = \underline{V}_{A1} ,$$

$$\underline{H}_3 = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1} ,$$

$$\underline{S}_3 = -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A1} ,$$

$$\underline{T}_3 = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B1} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B1} ,$$

$$\underline{G}_{\Delta 1} = \underline{V}_{A\Delta 1} ,$$

$$\underline{H}_{\Delta 1} = \underline{Z}_{c1L} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B\Delta 1} - \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B\Delta 1} ,$$

$$\underline{S}_{\Delta 1} = -\underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A\Delta 1} ,$$

$$\underline{T}_{\Delta 1} = \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{V}_{B\Delta 1} - \underline{Z}_{c1L} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) \underline{I}_{B\Delta 1} ,$$

- resolver la ecuación cuadrática $\underline{B}_5 [e^{j\delta}]^2 + \underline{B}_4 e^{j\delta} + \underline{B}_3 = 0$, obteniéndose así dos soluciones ($e^{j\delta_3}$) y ($e^{j\delta_4}$),

- seleccionar ($e^{j\delta_3}$) como resultado válido para el operador de sincronización ($e^{j\delta}$) si cumple la siguiente relación:
 $|1 - e^{j\delta_3}| < |1 - e^{j\delta_4}|$

o seleccionar ($e^{j\delta_4}$) como resultado válido para el operador de sincronización ($e^{j\delta}$) si cumple la siguiente relación:
 $|1 - e^{j\delta_3}| > |1 - e^{j\delta_4}|$,

- la solución válida ($e^{j\delta}$) se utiliza para determinar una distancia (d) al fallo de acuerdo con una fórmula:

$$d = \frac{1}{(\underline{\gamma}_{1L} \lambda)} \tanh^{-1} \left(\frac{\underline{V}_{B1} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) - \underline{V}_{A1} e^{j\delta}}{\underline{V}_{B1} \sinh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{B1} \cosh(\underline{\gamma}_{1L} \lambda) - \underline{Z}_{c1L} \underline{I}_{A1} e^{j\delta}} \right)$$

donde:

λ es la longitud de la línea,

$\underline{\gamma}_{1L} = \sqrt{\underline{Z}'_{1L} \underline{Y}'_{1L}}$ es la constante de propagación de la línea para la secuencia positiva,

$\underline{Z}_{c1L} = \sqrt{\underline{Z}'_{1L} / \underline{Y}'_{1L}}$ es la impedancia característica de la línea para la secuencia positiva,

\underline{Z}'_{1L} es la impedancia de la línea para la secuencia positiva,

\underline{Y}'_{1L} es la admitancia de la línea para la secuencia positiva,

$e^{j\delta}$ es un resultado válido que se selecciona como $e^{j\delta_3}$ o $e^{j\delta_4}$.

ES 2 351 478 T3

2. Relé de protección equipado con localizador de fallos (FL) que comprende medios para llevar a cabo las etapas de la reivindicación 1.

5 3. Producto de programa de ordenador que comprende código de programa de ordenador que cuando se ejecuta en un dispositivo informático realiza las etapas de un procedimiento según la reivindicación 1.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

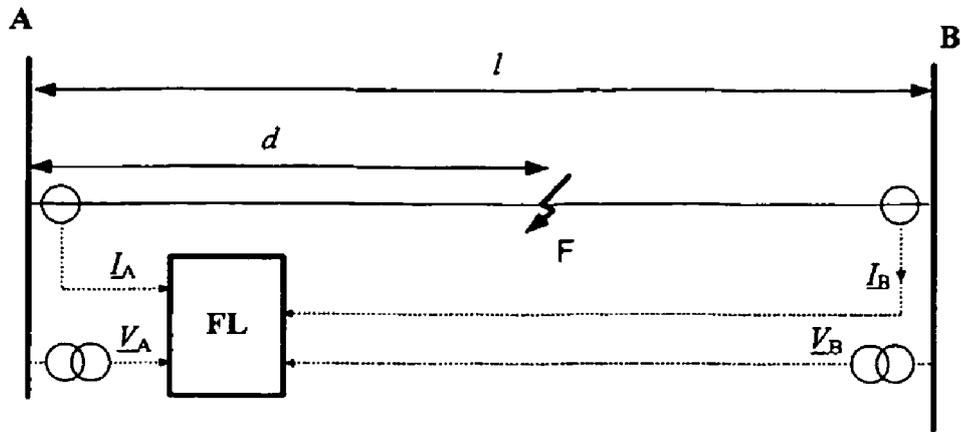


Fig. 1

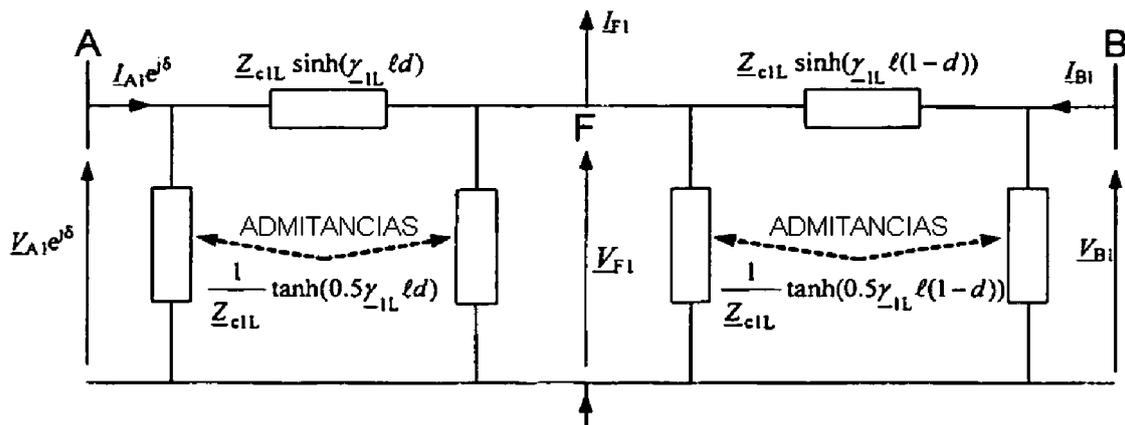


Fig. 2

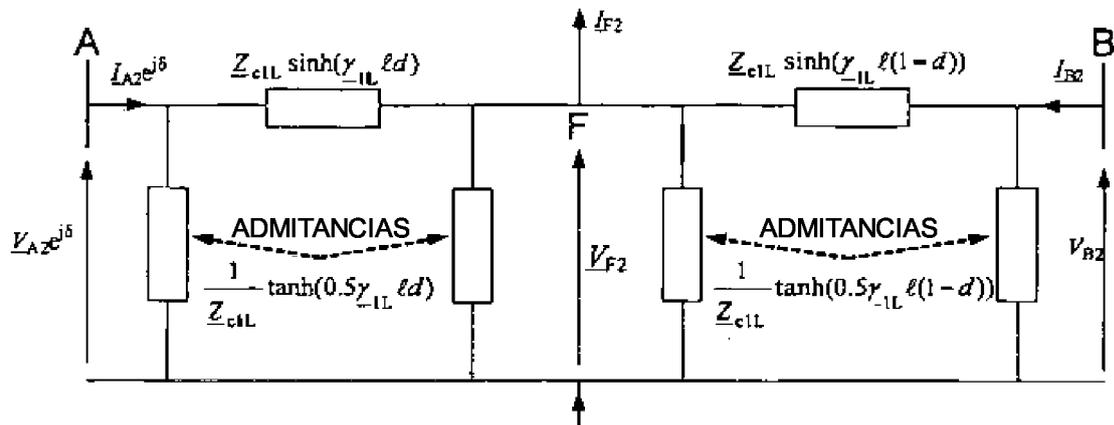


Fig. 3

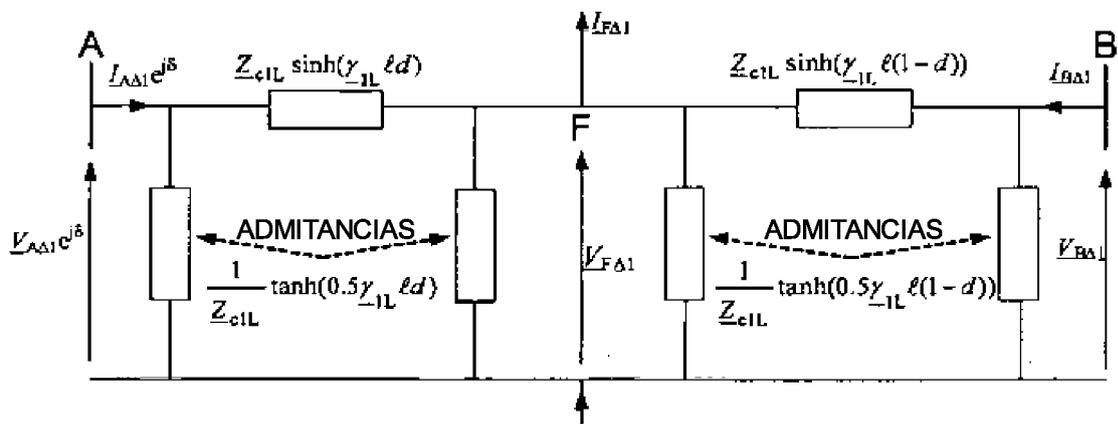


Fig. 4

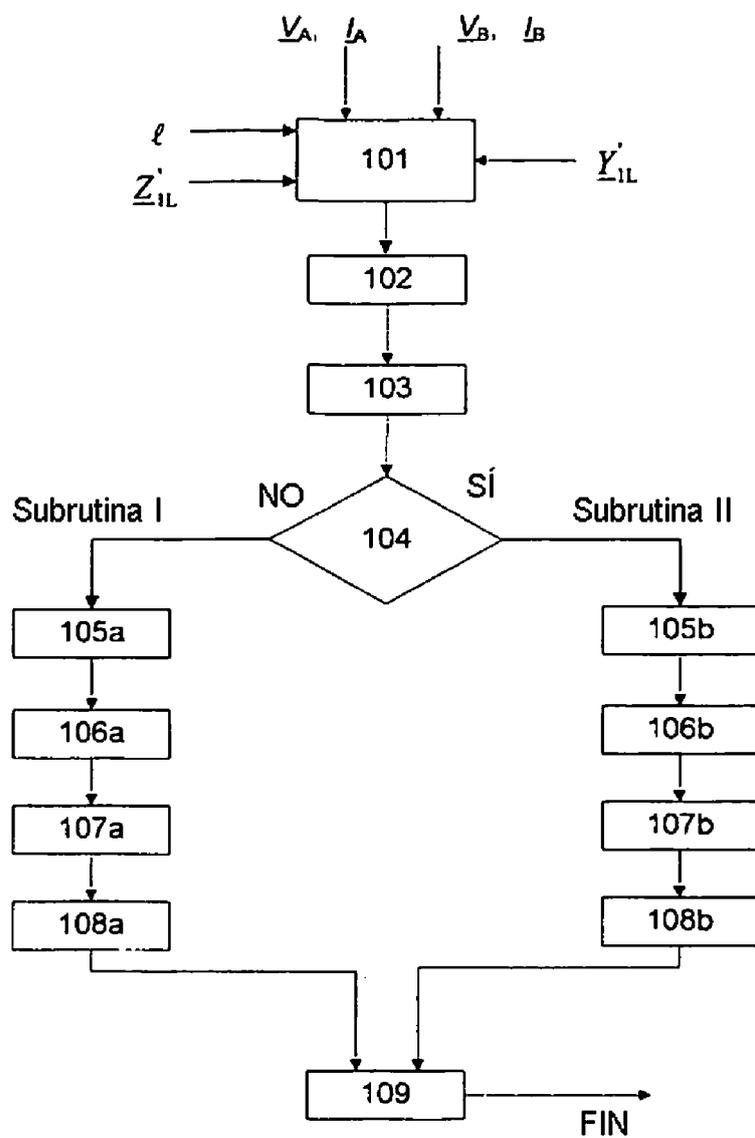


Fig.5