

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 456 290**

51 Int. Cl.:

G01R 31/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2006 E 06784043 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2014 EP 1924863**

54 Título: **Método para la localización de fallos en líneas de energía eléctrica**

30 Prioridad:

14.09.2005 PL 37706405
23.06.2006 PL 38001206

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.04.2014

73 Titular/es:

ABB TECHNOLOGY AG (100.0%)
Affolternstrasse 44
8050 Zürich , CH

72 Inventor/es:

BALCEREK, PRZEMYSŁAW;
FULCZYK, MAREK;
ROSOŁOWSKI, EUGENIUSZ;
IZYKOWSKI, JAN y
SAHA, MURARI

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 456 290 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

Método para la localización de fallos en líneas de energía eléctrica

5 La presente invención se refiere a un método para la localización de fallos en líneas de energía eléctrica, aplicable a líneas de energía de tres terminales y a líneas de energía de múltiples terminales, que se puede utilizar en la industria de la energía para líneas de transmisión o distribución aéreas y de cables aéreos.

10 La localización exacta del fallo en líneas de energía eléctrica es de gran importancia para las compañías eléctricas que se ocupan de la distribución de energía eléctrica y para los usuarios finales de energía eléctrica. La localización rápida y exacta del punto del fallo afecta a la calidad de la energía eléctrica transmitida y a su suministro fiable y sin interrupciones. En la mayoría de los casos, los fallos resultan en daños mecánicos que deben ser eliminados antes de que se restablezca de tensión en la línea. Una rectificación rápida de un fallo es posible si la localización del fallo se conoce con exactitud. El método más sencillo para determinar la localización de un fallo es buscando a lo largo de la línea. Este método es lento y caro, incluso peligroso en condiciones meteorológicas adversas. Los localizadores de fallos que facilitan una rápida determinación del punto del fallo se utilizan para la localización de los puntos del fallo. Un localizador de fallos es, por lo general, una parte de un relé de protección digital situado en estaciones o subestaciones de energía. Dependiendo del tipo de líneas de energía eléctrica: líneas paralelas, líneas de energía de tres terminales, líneas de energía de múltiples terminales, y dependiendo de la localización de los terminales finales y de la diversidad de la medición de las señales, se distinguen diferentes formas de localización de fallos.

25 Un sistema y un método para la localización de fallos en una línea de energía de tres terminales se conocen a partir de la descripción de la patente US 6.466.030. El método de acuerdo con esa invención consiste en dividir la línea de transmisión en el punto de derivación en dos secciones, la sección del lado de suministro y la sección del lado de recepción, y en los dos lados de las dos secciones en sus extremos se instalan instrumentos para la medición de los valores de las señales de corriente y tensión. Entonces, sobre la base de los valores medidos de forma sincrónica o asincrónica y del modelo de bucles de fallo, se calcula la impedancia de carga en la rama, después de lo cual se calcula la primera localización hipotética del fallo suponiendo que el fallo se produjo en el lado de la sección de suministro. Dependiendo de si las mediciones están sincronizadas o no, se calcula el ángulo de fase, que es la medida de desplazamiento con el tiempo de las muestras medidas de las señales de ambos extremos de la línea sobre la base de señales fallos medidas previamente, o se supone una fase de ángulo igual a cero para las mediciones sincrónicas. Luego se hacen los cálculos de la segunda localización hipotética del fallo en el segundo tramo de línea entre el punto de derivación y el punto recibido. A partir de las dos localizaciones hipotéticas calculadas, se elige un valor que está contenido en un intervalo específico de valores esperados, es decir, los valores numéricos de 0 a 1 en unidades relativas. La solución descrita se aplica al caso de una sola línea de circuito con una rama pasiva, lo que significa que en el esquema equivalente aprobado de dicho sistema, en la línea derivada, no se considera la presencia de la fuerza motriz de energía eléctrica, y la impedancia de carga de esta línea se puede calcular a partir de mediciones anteriores al fallo.

40 Un sistema y un método para la localización de fallos en una línea de transmisión en paralelo de varios terminales se conocen a partir de la descripción de la patente US 5.485.394. En el método de acuerdo con la invención, un sistema de transmisión de múltiples terminales se iguala a un sistema de transmisión de tres terminales. Para tal sistema, las amplitudes de corriente diferenciales se calculan en cada estación, y luego se calcula la distancia hasta el punto de el fallo a partir de sus relaciones.

50 Un método para la localización de fallos utilizando la medición de tensión y fasor de corriente en todas las estaciones en los extremos de una línea de múltiples terminales se conoce a partir de la publicación YING-HONG LIN et al: "Novel Fault Location Algorithm for Multi-Terminal Lines Using Phasor Measurement Units", publicada en los materiales del trigésimo séptimo Simposio Anual de North American Power en Ames, Iowa, EE.UU., 23 a 25 de octubre de 2005. Este método consiste en la reducción de una línea de transmisión de múltiples secciones en sistemas de líneas de dos terminales, suponiendo que el fallo se encuentra en una de estas secciones, y luego se calculan localizaciones hipotéticas del fallo para esta suposición. A continuación, se realizan los cálculos de las sucesivas localizaciones hipotéticas de fallos suponiendo que el fallo se encuentra en otras secciones sucesivas de la línea. Un valor, que está contenido en un intervalo específico de valores esperados y que indica el lugar real del fallo, se selecciona de las localizaciones hipotéticas calculadas de esta manera.

60 Una nueva solución para localizar con precisión fallos en líneas de tres terminales se conoce a partir de la publicación "A new fault Locator for three-Terminal Transmission Line-Using Two-Terminal Synchronized Voltage and Current Phasors", IEEE Transaction on Power Delivery, Centro de Servicio IEEE, Nueva York, NY, EE.UU., vol.17, no. 2, 2002, páginas 452-459, XP011078798 ISSN: 0885-8977. En esta solución, se ha propuesto el localizador de fallos para líneas de transmisión de tres terminales que utilizan tensiones, es decir, fasores de tensión y corriente sincronizados de dos terminales incompletos. En la primera etapa del procedimiento de localización de fallos se selecciona la sección que falla de las líneas de transmisión basándose en la suposición de que la caída de tensión que se expresa en términos de mediciones de los dos lados de la línea en el punto del fallo son idénticas. A continuación, para cada sección de línea que falla se aplica el procedimiento de localización de fallos especial. Si el

fallo se produce en una de la sección de la línea original, se calculan la impedancia de origen remota y la corriente que circula por la línea derivada y a continuación se estima la distancia al fallo. Si se produce el fallo en la sección derivada primero se calcula la fuente de tensión interna y luego se utiliza esta tensión para la distancia del cálculo del fallo.

5

La esencia de la invención

La esencia del método de la invención para localizar fallos en líneas de energía eléctrica mediante división de las líneas del sistema de transmisión o distribución en secciones consiste en lo siguiente:

10

- la corriente para la condición de fallo y la corriente para la condición previa al fallo se miden en todas las estaciones terminales del sistema,

15

- la tensión de fase de la línea para las condiciones de fallo y previa al fallo se mide en una estación terminal del sistema,

20

- se calculan los componentes simétricos de las señales de corriente y tensión medidas y la corriente total de fallo en el punto de fallo,

25

- se asume una localización hipotética del fallo en una de las secciones de línea,
- se asume el primer punto hipotético del fallo situado en la sección de línea entre el principio de la línea y el primer punto de derivación, el segundo punto hipotético del fallo situado en la sección línea entre el final de la línea y el último punto de derivación, y un punto hipotético del fallo consecutivo que está situado en cada una de las ramas de la línea que se conectan a la línea, mientras que para las líneas de múltiples terminales, que tienen más de tres terminales, también se asume el punto hipotético del fallo consecutivo situado en cada sección de línea entre dos puntos de derivación consecutivas,

30

- la distancia desde el principio de la línea hasta el punto de fallo en la sección entre el principio de la línea y el primer punto de derivación, se calcula la distancia desde el extremo de la línea hasta el punto del fallo en la sección entre el extremo de la línea y el último punto de derivación, la distancia desde el extremo de la línea derivada al punto del fallo se encuentra en cada una de las ramas, mientras que también se calcula para unas líneas de múltiples terminales la distancia desde el punto de derivación hasta el punto de fallo situado en cada uno de la sección de línea entre dos puntos de derivación, y luego se calcula para todos los puntos hipotéticos de fallos en cada resistencia de fallo de sección,

35

- la localización del punto de fallo real se selecciona primero mediante la comparación de los valores numéricos relativos a las distancias previamente determinadas y se rechazan los resultados cuyos valores numéricos son negativos o más grande que 1 por unidad y, a continuación, mediante el análisis de los valores de las resistencias de fallo calculadas para los puntos de fallo y se rechazan los resultados del cálculo para los que el valor de la resistencia de fallo es negativo, y si se encuentra que un solo valor numérico relativo a la distancia está contenido en el intervalo numérico entre cero y uno por unidad y el valor de la resistencia de fallo calculada para esta distancia al punto de fallo es positivo o igual a cero, entonces estos resultados son finales e indican la distancia real al punto de fallo y el valor de la resistencia de fallo en el punto de fallo,

40

45

- si, después de la selección del punto de fallo real resulta que al menos dos valores numéricos relativos a las distancias calculadas anteriormente están contenidos dentro del intervalo numérico de cero a uno en unidades relativas y los valores de las resistencias de fallo calculadas para estos puntos de fallo son positivos o igual a cero, entonces se determinan los módulos de impedancia o impedancias de sistemas de código equivalentes para el componente de secuencia negativa para fallos de fase a tierra, fallos de fase a fase y fallos de dobles fase a tierra o para el componente de secuencia de incremento positivo de fallos trifásicos, en el supuesto de que el fallo se produjo en una sección definida, para líneas de múltiples terminales, durante la determinación de la impedancia, además, verifica si los valores calculados de la impedancia de los sistemas de código equivalentes se encuentran en el primer cuadrante del sistema de coordenadas cartesiano para el complejo simple y estas distancias a los puntos de fallo son rechazados para los valores de impedancia que no están contenidos en este cuadrante del sistema, y si resulta que sólo un valor de la impedancia del sistema de origen equivalente relativa a la distancia está contenido en el primer cuadrante del sistema, entonces el resultado del cálculo de la distancia al punto de fallo, para esta impedancia, se considera que es final, mientras que si resulta que al menos dos valores de la impedancia de los sistemas de código equivalentes relativos a la distancia están contenidos en el primer cuadrante del sistema, entonces los módulos de estas impedancias se utilizan en la siguiente etapa,

50

55

60

- los valores de los módulos de la impedancia de origen equivalente se comparan con valores realistas, que realmente definen la carga o el suministro del sistema, y la distancia para la que el valor del módulo de la impedancia de origen equivalente es más cercano a los valores realistas que determinan realmente la carga o el suministro del sistema se considera que es el resultado final.

65

Preferiblemente, el cálculo de la corriente total de fallo se hace teniendo en cuenta los coeficientes de reparto que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia del fallo, utilizándose un conjunto determinado especialmente de estos coeficientes para esa operación.

5 Preferiblemente, para estos fallos de fase a fase a tierra del componente de secuencia positiva se eliminan en la estimación de la corriente total del fallo, y para los componentes de secuencia negativos y cero, se asumen los siguientes valores de los coeficientes de reparto que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo, en particular para fallo a-b-g:

$$\begin{aligned} \underline{a}_{F1} &= 0, \\ \underline{a}_{F2} &= \underline{a}_{F2}^{\text{init.}} - \frac{\underline{a}_{F1}^{\text{init.}} \underline{b}_{F2}}{\underline{b}_{F1}}, \\ \underline{a}_{F0} &= \frac{\underline{a}_{F1}^{\text{init.}}}{\underline{b}_{F1}} \end{aligned}$$

15 considerando lo siguiente:

$$\begin{aligned} \underline{a}_{F1}^{\text{init.}} &= 1 - \underline{a}^2, \\ \underline{a}_{F2}^{\text{init.}} &= 1 - \underline{a}, \\ \underline{b}_{F1} &= -\underline{a}, \\ \underline{b}_{F2} &= -\underline{a}^2, \\ \underline{a} &= \exp^{j2\pi/3} = -0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2}, \end{aligned}$$

25 Preferiblemente, para las líneas de energía de tres terminales, las distancias desde el principio de la línea en el punto del fallo d_A , desde el extremo de la línea hasta el punto de fallo d_B , desde el extremo de la línea derivada hasta el punto de fallo d_C se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} d_A &= \frac{\text{real}(\underline{V}_{Ap})\text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{V}_{Ap})\text{real}(\underline{I}_F)}{\text{real}(\underline{Z}_{ILA} \underline{I}_{Ap})\text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{Z}_{ILA} \underline{I}_{Ap})\text{real}(\underline{I}_F)}, \\ d_B &= \frac{-\text{real}(\underline{V}_{Tp} - \underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp})\text{imag}(\underline{I}_F) + \text{imag}(\underline{V}_{Tp} - \underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp})\text{real}(\underline{I}_F)}{\text{real}(\underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp})\text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp})\text{real}(\underline{I}_F)}, \\ d_C &= \frac{-\text{real}(\underline{V}_{Tp} - \underline{Z}_{ILC} \underline{I}_{TCp})\text{imag}(\underline{I}_F) + \text{imag}(\underline{V}_{Tp} - \underline{Z}_{ILC} \underline{I}_{TCp})\text{real}(\underline{I}_F)}{\text{real}(\underline{Z}_{ILC} \underline{I}_{TCp})\text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{Z}_{ILC} \underline{I}_{TCp})\text{real}(\underline{I}_F)}, \end{aligned}$$

30 donde:

"real" indica la parte real de la cantidad dada,

35 "imag" indica la parte imaginaria de la cantidad dada,

\underline{V}_{Ap} - indica la tensión de bucle de fallo determinada suponiendo que el fallo se produjo en la sección de LA,

40 \underline{V}_{Tp} - indica la tensión de bucle de fallo determinada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LB o LC,

I_{Ap} - indica la corriente de bucle de fallo determinada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LA,

5

I_{TBp} - indica la corriente de bucle de fallo determinada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LB,

I_{TCp} - Indica la corriente del bucle de fallo determina suponiendo que el fallo se produjo en la sección LC línea,

10

I_F - indica la corriente total del fallo,

$Z_{1LA} = R_{1LA} + j\omega_1 L_{1LA}$ - indica la impedancia de la sección de línea LA para la secuencia positiva,

$Z_{1LB} = R_{1LB} + j\omega_1 L_{1LB}$ - indica la impedancia de la sección de la línea LB para la secuencia positiva,

15

$Z_{1LC} = R_{1LC} + j\omega_1 L_{1LC}$ - indica la impedancia de la sección de línea LC para la secuencia positiva,

R_{1LA} , R_{1LB} , R_{1LC} - resistencia para la secuencia positiva para las secciones de línea LA, LB, LC, respectivamente,

20

L_{1LA} , L_{1LB} , L_{1LC} - inductancia para la secuencia positiva para las secciones de línea LA, LB, LC, respectivamente,

ω_1 - pulsación de la frecuencia fundamental.

25

Preferiblemente, para las líneas de energía de tres terminales, la resistencia de fallo R_{FA} , R_{FB} , R_{FC} se determina a partir de las siguientes ecuaciones:

$$R_{FA} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Ap}) - d_A \text{real}(Z_{1LA} I_{Ap})}{\text{real}(I_F)} + \frac{\text{imag}(V_{Ap}) - d_A \text{imag}(Z_{1LA} I_{Ap})}{\text{imag}(I_F)} \right],$$

$$R_{FB} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Tp}) - (1 - d_B) \cdot \text{real}(Z_{1LB} I_{TBp})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{Tp}) - (1 - d_B) \cdot \text{imag}(Z_{1LB} I_{TBp})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

30

$$R_{FC} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Tp}) - (1 - d_C) \cdot \text{real}(Z_{1LC} I_{TCp})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{Tp}) - (1 - d_C) \cdot \text{imag}(Z_{1LC} I_{TCp})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

donde:

35

"real" indica la parte real de la cantidad dada,

"imag" indica la parte imaginaria de la cantidad dada,

40

V_{Ap} - indica la tensión de bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LA,

V_{Tp} - indica la tensión de bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LB o LC,

I_{Ap} - indica la corriente del bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LA,

45

I_{TBp} - indica la corriente del bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LB,

I_{TCp} - indica la corriente del bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LC,

50

I_F - indica la corriente total de fallo,

$Z_{1LA} = R_{1LA} + j\omega_1 L_{1LA}$ - indica la impedancia de la sección de línea LA para la secuencia positiva,

$Z_{1LB} = R_{1LB} + j\omega_1 L_{1LB}$ - indica impedancia de la sección de la línea LB para la secuencia positiva,

$\underline{Z}_{1LC} = R_{1LC} + j\omega_1 L_{1LC}$ - indica la impedancia de la sección de línea LC para la secuencia positiva,

R_{1LA} , R_{1LB} , R_{1LC} - resistencia para la secuencia positiva para las secciones de línea LA, LB, LC, respectivamente,

L_{1LA} , L_{1LB} , L_{1LC} - inductancia para la secuencia positiva para las secciones de línea LA, LB, LC, respectivamente,

ω_1 - pulsación para la frecuencia fundamental.

d_A - indica la distancia desde el principio de la línea hasta el punto de fallo,

d_B - indica la distancia desde el extremo de la línea hasta el punto de fallo,

d_C - indica la distancia desde el extremo de la línea derivada hasta el punto de fallo.

Preferiblemente, para las líneas de energía de tres terminales, se calculan la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa ($(\underline{Z}_{2SB})_{SUB_A}$) y para el componente de secuencia positiva incremental ($(\underline{Z}_{\Delta 1SB})_{SUB_A}$) suponiendo que el fallo se produjo en la sección de la línea LA, según esta ecuación:

$$(\underline{Z}_{iSB})_{SUB_A} = \frac{G_{iA} \underline{I}_{A2} - H_{iA} \underline{I}_{FAi}}{\underline{Q}_{BCi} (\underline{I}_{FAi} - \underline{I}_{Ai})}$$

donde:

el índice más bajo i adquiere valores $i = 2$ para la secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

G_{iA} - indica el primer coeficiente analítico para el componente de secuencia negativa, determinado a partir del análisis de un diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 11 y/o para el componente de secuencia positiva incremental analíticamente determinado a partir del diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 12,

\underline{I}_{Ai} - indica el componente de secuencia negativa y/o positiva incremental de corriente medida en el principio de la línea,

H_{iA} - indica el segundo coeficiente analítico para el componente de secuencia negativa, determinado a partir del análisis de un diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 11 y/o el componente de secuencia positiva incremental analíticamente determinado a partir del diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 12,

\underline{I}_{FAi} - indica el componente de secuencia negativa de la corriente de fallo total, determinado a partir del análisis de un diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 11 y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente de fallo total, determinado a partir del análisis de un diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 12,

\underline{Q}_{BCi} - indica el cociente del componente de secuencia negativa de la corriente medida en el extremo de la línea y la suma de los componentes de secuencia negativa de las señales de corriente medida en el extremo de la línea y al final de la línea derivada y/o el cociente del componente de secuencia positiva incremental de corriente medida en el extremo de la línea y la suma de los componentes de secuencia positiva incrementales de señales de corriente medida en el extremo de la línea y en el extremo de la línea derivada.

Preferiblemente, para las líneas de energía de tres terminales, la impedancia de fuente equivalente ($(\underline{Z}_{2SC})_{SUB_A}$) para el componente de secuencia negativa y ($(\underline{Z}_{\Delta 1SC})_{SUB_A}$) para el componente de secuencia positiva incremental se calculan suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LA, a partir de la siguiente ecuación:

$$(\underline{Z}_{iSC})_{SUB_A} = \left(\underline{Z}_{iLB} + (\underline{Z}_{iSB})_{SUB_A} \right) \frac{\underline{I}_{Bi}}{\underline{I}_{Ci}} - \underline{Z}_{iLC}$$

donde:

el índice más bajo i adquiere valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

$(\underline{Z}_{iSB})_{SUB_A}$ - indica impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental, calculado suponiendo que el fallo se produjo en la sección

de línea LA,

Z_{iLB} - indica la impedancia de la sección de línea LB para el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva, donde: $Z_{\Delta 1LB} = Z_{iLB}$,

Z_{1LB} - indica la impedancia de la sección línea LB para el componente de secuencia positiva,

Z_{iLC} - indica la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia negativa y/o la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia positiva incremental, donde $Z_{2LC} =$

Z_{iLC} y $Z_{\Delta 1LC} = Z_{iLC}$,

Z_{1LC} - indica la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia positiva,

I_{Bi} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la línea,

I_{Ci} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la rama.

Preferiblemente, para las líneas de energía de tres terminales, se determina la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa $(Z_{2SB})_{SUB_B}$ y para el componente de secuencia positiva incremental $(Z_{\Delta 1SB})_{SUB_B}$ se determina suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LB, a partir de la siguiente ecuación:

$$(Z_{iSB})_{SUB_B} = \frac{(1 - d_B) Z_{iLB} I_{TBi}^{transf.} - d_B Z_{iLB} I_{Bi} - V_{Ti}^{transf.}}{I_{Bi}}$$

donde:

el índice más bajo i adquiere valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

d_B - indica la distancia desde el extremo de la línea hasta el punto de fallo,

Z_{iLB} - indica la impedancia de la sección de línea LB para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva, donde $Z_{2LB} = Z_{iLB}$ y $Z_{\Delta 1LB} = Z_{iLB}$,

Z_{1LB} - indica la impedancia de la sección de línea LB para el componente de secuencia positiva,

$I_{TBi}^{transf.}$ - indica la corriente que circula desde de un punto de derivación T a la sección de línea LB para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental,

I_{Bi} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la línea,

$V_{Ti}^{transf.}$ - indica la tensión en el punto de derivación T para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental.

Preferiblemente, para las líneas de energía de tres terminales, la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa $(Z_{2SC})_{SUB_B}$ y para el componente de secuencia positiva incremental $(Z_{\Delta 1SC})_{SUB_B}$ se calcula suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LB, a partir de la siguiente ecuación:

$$(Z_{iSC})_{SUB_B} = -\frac{V_{Ci}}{I_{Ci}}$$

donde:

el índice más bajo i adquiere valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

V_{Ci} - indica el componente calculado de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la tensión en el extremo de la línea de derivación, I_{Ci} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la rama.

Preferiblemente, para las líneas de energía de tres terminales, la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa $(Z_{2SC})_{SUB_C}$ y para el componente de secuencia positiva incremental $(Z_{\Delta 1SC})_{SUB_C}$ se calcula suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LC, a partir de la siguiente ecuación:

$$(Z_{iSC})_{SUB_C} = \frac{(1 - d_C) Z_{iLC} I_{TCi}^{transf.} - d_C Z_{iLC} I_{Ci} - V_{Ti}^{transf.}}{I_{Ci}}$$

donde:

el índice más bajo i adquiere valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

d_C - indica la distancia desde el extremo de la línea de derivación hasta el punto del fallo,

Z_{LC} - indica la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental, donde $Z_{2LC} = Z_{1LC}$ y $Z_{\Delta 1LC} = Z_{1LC}$,

Z_{1LC} - indica la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia positiva,

$I_{TCi}^{transf.}$ - indica la corriente que circula desde el punto de derivación T a la sección de línea LC para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental,

I_{Ci} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la rama,

$V_{Ti}^{transf.}$ - indica la tensión en el punto de derivación T para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental.

Preferiblemente, para las líneas de energía de tres terminales, la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa $(Z_{iSB})_{SUB_C}$ y para el componente de secuencia positiva incremental $(Z_{\Delta 1SB})_{SUB_C}$ se calcula mediante la siguiente ecuación, suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LC:

$$(Z_{iSB})_{SUB_C} = -\frac{V_{Bi}}{I_{Bi}}$$

donde:

el índice más bajo i adquiere valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

V_{Bi} - indica la secuencia negativa calculada y/o el componente de secuencia positiva incremental de la tensión en el extremo de la línea,

I_{Bi} - indica la secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo B de la línea.

Preferiblemente, para las líneas de energía de múltiples terminales, las distancias desde el principio de la línea hasta el punto de fallo (d_i), desde el extremo de la línea hasta el punto de fallo ($d_{(2n-3)}$), desde el extremo de la línea hasta el punto de fallo ($d_{(2k-2)}$), desde el punto de derivación hasta el punto de fallo en la sección de línea entre dos puntos de derivación ($d_{(2k-1)}$) se determina a partir de las siguientes ecuaciones:

$$d_1 = \frac{\text{real}(V_{1p})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(V_{1p})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L1}I_{1p})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L1}I_{1p})\text{real}(I_F)}$$

$$d_{(2n-3)} = \frac{-\text{real}(V_{T(n-1)np} - Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})\text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{T(n-1)np} - Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})\text{real}(I_F)}$$

$$d_{(2k-2)} = \frac{-\text{real}(V_{Tksp} - Z_{1L(2k-2)}I_{Tksp})\text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{Tksp} - Z_{1L(2k-2)}I_{Tksp})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L(2k-2)}I_{Tksp})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L(2k-2)}I_{Tksp})\text{real}(I_F)}$$

$$d_{(2k-1)} = \frac{-\text{real}(V_{TkT(k+1)p} - Z_{1L(2k-1)}I_{TkT(k+1)p})\text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{TkT(k+1)p} - Z_{1L(2k-1)}I_{TkT(k+1)p})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L(2k-1)}I_{TkT(k+1)p})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L(2k-1)}I_{TkT(k+1)p})\text{real}(I_F)}$$

donde:

"real" indica la parte real de la cantidad dada,

"imag" indica la parte imaginaria de la cantidad dada,

V_{1p} - tensión de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en la primera sección de la sección de la línea L1,

5 I_{1p} - corriente de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en la primera sección de la sección de la línea L1,

$V_{T(n-1)np}$ - tensión de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en la sección de la línea L(2n-3),

10 $I_{T(n-1)np}$ - corriente de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en el tramo de línea L(2n-3),

V_{Tkkp} - tensión de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en el k^a línea de derivación,

15 I_{Tkkp} - corriente de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en k^a línea de derivación,

$V_{TKT(k+1)p}$ - tensión de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en el tramo de línea entre dos puntos de derivación,

20 $I_{TKT(k+1)p}$ - corriente de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en el tramo de línea entre dos puntos de derivación,

25 I_F - corriente total de fallo,

Z_{1L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia positiva,

Z_{0L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia cero,

30 $Z_{1L(2n-3)}$ - impedancia de la línea de sección L(2n-3) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0D(2n-3)}$ - impedancia de la línea de sección L(2n-3) para el componente de secuencia cero,

35 $Z_{1L(2k-2)}$ - impedancia de la línea de sección L(2k-2) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0D(2k-2)}$ - impedancia de la línea de sección L(2k-2) para el componente de secuencia cero,

40 $Z_{1L(2k-1)}$ - impedancia de la línea de sección L(2k-1) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0D(2k-1)}$ - impedancia de la línea de sección L(2k-1) para el componente de secuencia cero.

k - número del punto de derivación

45 n - número del terminal de la línea

Preferiblemente, para las líneas de energía de múltiples terminales, la resistencia de fallo (R_{1F}), ($R_{(2n-3)F}$), ($R_{(2k-2)F}$), ($R_{(2k-1)F}$) se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

50
$$R_{1F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{1p}) - d_1 \text{real}(Z_{1L1} I_{1p})}{\text{real}(I_F)} + \frac{\text{imag}(V_{1p}) - d_1 \text{imag}(Z_{1L1} I_{1p})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

$$R_{(2n-3)F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{T(n-1)np}) - (1 - d_{(2n-3)}) \cdot \text{real}(Z_{1L(2n-3)} I_{T(n-1)np})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{T(n-1)np}) - (1 - d_{(2n-3)}) \cdot \text{imag}(Z_{1L(2n-3)} I_{T(n-1)np})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

$$R_{(2k-2)F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Tkkp}) - (1-d_{(2k-2)}) \cdot \text{real}(Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp})}{\text{real}(I_F)} \right] +$$

$$+ \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{Tkkp}) - (1-d_{(2k-2)}) \cdot \text{imag}(Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

$$R_{(2k-1)F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{TKT(k+1)p}) - (1-d_{(2k-1)}) \cdot \text{real}(Z_{1L(2k-1)} I_{TKT(k+1)p})}{\text{real}(I_F)} \right] +$$

$$+ \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{TKT(k+1)p}) - (1-d_{(2k-1)}) \cdot \text{imag}(Z_{1L(2k-1)} I_{TKT(k+1)p})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

5 donde:

"real" indica la parte real de la cantidad dada,

"imag" indica la parte imaginaria de la cantidad dada,

d_f - distancia al fallo desde el inicio de la línea hasta el punto del fallo,

10 $d_{(2n-3)}$ - distancia al fallo desde el extremo de la línea hasta el punto del fallo,

$d_{(2k-2)}$ - distancia al fallo desde el extremo de la línea derivada hasta el punto del fallo,

$d_{(2k-1)}$ - distancia al fallo en la sección de línea entre dos puntos de derivación,

V_{1p} - tensión de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en la primera sección de la sección de la línea L1,

15 I_{1p} - corriente de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en la primera sección de la sección de la línea L1,

$V_{T(n-1)np}$ - tensión de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en el tramo de la línea L(2n-3),

20 $I_{T(n-1)np}$ - corriente de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en el tramo de la línea L(2n-3),

V_{Tkkp} - tensión de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en la k^a línea de derivación,

I_{Tkkp} - corriente de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en la k^a línea de derivación,

25 $V_{TKT(k+1)p}$ - tensión de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en el tramo de línea entre dos puntos de derivación,

$I_{TKT(k+1)p}$ - corriente de bucle de fallo calculada bajo el supuesto de que el fallo se produjo en el tramo de línea entre dos puntos de derivación,

I_F - corriente total de fallo,

30 Z_{1L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia positiva,

Z_{0L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia cero,

$Z_{1L(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0D(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia cero,

35 $Z_{1L(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0D(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia cero,

$Z_{1L(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-1) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0D(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-1) para el componente de secuencia cero.

k - número del punto de derivación

n - número del terminal de la línea

40 **Preferiblemente, para las líneas de energía de múltiples terminales,** la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa (Z_{2S1}) o para el componente de secuencia positiva incremental ($Z_{\Delta 1S1}$) se calcula suponiendo que el fallo se encuentra en la sección de línea entre el inicio de la línea y el primer punto de derivación, de acuerdo con la siguiente ecuación:

45

$$(Z_{iS1}) = \frac{-V_{li}}{I_{li}}$$

donde

50 $i = 2$ para la secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

V_{li} - tensión medida en la estación 1 (el primer subíndice) para componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva

incremental - índice $\Delta 1$,

I_{1i} - corriente medida en la estación 1 (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$.

5 Preferiblemente, **para líneas de energía de múltiples terminales**, la impedancia de origen equivalente ($(Z_{2S(n)})$) para el componente de secuencia negativa y ($(Z_{\Delta 1S(n)})$) para el componente de secuencia positiva incremental se determina suponiendo que el fallo se encuentra en la sección de línea entre el extremo de la línea y el último punto de derivación, a partir de la siguiente ecuación:

10

$$(Z_{iSn}) = - \frac{V_{T(n-1)i}^{transf.} - (1 - d_{(2n-3)}) \cdot Z_{iL(2n-3)} \cdot I_{T(n-1)ni}^{transf.} - d_{(2n-3)} \cdot Z_{iL(2n-3)} \cdot (I_{T(n-1)ni}^{transf.} - I_{Fi})}{I_{ni}}$$

donde:

15 $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

$V_{T(n-1)i}^{transf.}$ - tensiones en el punto de derivación final de T(n-1) para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,

$d_{(2n-3)}$ - distancia al fallo del extremo de la línea hasta el punto del fallo,

20 $Z_{L(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,

$I_{T(n-1)ni}^{transf.}$ - valores de la corriente que circula desde el punto de derivación T(n-1) hasta la estación n en la línea de sección L(2n-3) para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$

25 I_{Fi} - corriente total de fallo para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,

I_{ni} - corriente medida en la última estación n (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$.

30 Preferiblemente, **para líneas de energía de múltiples terminales**, la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa ((Z_{2Sk})) y para el componente de secuencia positiva incremental ($(Z_{\Delta 1Sk})$) se determinan suponiendo que el fallo se encuentra en la línea de derivación, a partir de la siguiente ecuación:

35

$$(Z_{iSk}) = - \frac{V_{Tki}^{transf.} - (1 - d_{(2k-2)}) \cdot Z_{iL(2k-2)} \cdot I_{Tkki}^{transf.} - d_{(2k-2)} \cdot Z_{iL(2k-2)} \cdot (I_{Tkki}^{transf.} - I_{F2})}{I_{ki}}$$

donde:

40 $V_{Tki}^{transf.}$ - tensiones en el k° punto de derivación para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o para el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,

$d_{(2k-2)}$ - distancia al fallo desde el extremo de la línea de derivación al punto del fallo Tk,

$Z_{L(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o para el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,

45 $I_{Tkki}^{transf.}$ - valores de la corriente que circula desde el punto de derivación Tk a la k° estación en la sección de la línea derivada L(2k-2) para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$

I_{F2} - corriente total de fallo para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,

50 I_{ki} - corriente medida en la estación k (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$.

55 Preferiblemente, **para líneas de energía de múltiples terminales**, la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa ((Z_{2Sk}) y $(Z_{2S(k+1)})$) y para el componente de secuencia positiva incremental ($(Z_{\Delta 1Sk})$ y $(Z_{\Delta 1S(k+1)})$) se calcula suponiendo que el fallo se encuentra en la sección de línea entre dos puntos de derivación consecutivos, a partir de las siguientes ecuaciones:

$$(Z_{iSk}) = \frac{V_{Tki}^{transf.} - d_{(2k-1)} \cdot Z_{iL(2k-1)} \cdot I_{TkT(k+1)i}^{transf.} - (1 - d_{(2k-1)}) \cdot Z_{iL(2k-1)} \cdot (I_{TkT(k+1)i}^{transf.} - I_{Fi}) + Z_{iLk} I_{ki}}{I_{ki}}$$

$$(Z_{iS(k+1)}) = \frac{V_{Tki}^{transf.} - d_{(2k-1)} \cdot Z_{iL(2k-1)} \cdot I_{TkT(k+1)i}^{transf.} - (1 - d_{(2k-1)}) \cdot Z_{iL(2k-1)} \cdot (I_{TkT(k+1)i}^{transf.} - I_{Fi}) + Z_{iL(2k)} I_{(k+1)i}}{I_{(k+1)i}}$$

donde:

- 5
- $V_{Tki}^{transf.}$ - tensiones en el k^o punto de derivación para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,
- $d_{(2k-1)}$ - distancia al fallo en la sección de línea entre dos puntos de derivación,
- 10 $Z_{iL(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-1) para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,
- $I_{TkT(k+1)i}^{transf.}$ - corriente que circula desde el punto de derivación Tk al punto de derivación T(k+1) en la sección de línea de componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,
- 15 I_{Fi} - corriente total de fallo para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,
- I_{ki} - corriente medida en la estación k (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$,
- 20 $I_{(k+1)i}$ - corriente medida en la estación k+1 (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$

Ventajas de la invención

- 25 La ventaja del método para la localización de fallos en líneas de energía eléctrica, que es el objetivo de esta invención, es que hace posible determinar el punto del fallo para un sistema de transmisión o distribución, tanto con derivación pasiva y activa (derivaciones). Debido a las señales de entrada requeridas, el método de localización de la invención se puede aplicar en la protección de corriente diferencial, lo que aumentará la funcionalidad del relé de protección. De esta forma, el relé de protección, además de su función principal, es decir, indicación de si se produjo el fallo en la zona de protección dada o fuera de la misma, será capaz de definir con exactitud la localización del fallo.

- Además, el método de la invención es resistente a condiciones anteriores al fallo definidas por la dirección y el volumen del flujo de la potencia previa al fallo.

Un ejemplo de la realización de la invención

- El método de acuerdo con la presente invención se explica en una realización mostrada en el dibujo, donde la figura 1 muestra un diagrama general de la red eléctrica para la implementación del método de la invención para una línea de energía eléctrica de tres terminales, con secciones que se indican LA, LB y LC, la figura 2 - un diagrama de circuito equivalente para el componente de secuencia positiva para el supuesto de que se produzca el fallo en la sección de línea LA, figura 3 - un diagrama de circuito equivalente de un sistema de transmisión del componente de secuencia negativa para el supuesto de que el fallo se produzca en la sección de línea LA, figura 4 - un diagrama de circuito equivalente de un sistema de transmisión para el componente de secuencia cero para el supuesto de que el fallo se produzca en la sección de línea LA, figura 5 - un diagrama de circuito equivalente para el componente de secuencia positiva para el supuesto de que se produzca el fallo en la sección de línea LB, figura 6 - un diagrama de circuito equivalente de un sistema de transmisión del componente de secuencia negativa para el supuesto de que el fallo se produzca en la sección de línea LB, figura 7 - un diagrama de circuito equivalente de un sistema de transmisión para el componente de secuencia cero para el supuesto de que el fallo se produzca en la sección de línea LB, figura 8 - un diagrama de circuito equivalente para el componente de secuencia positiva para el supuesto de que se produzca el fallo en la sección de línea LC, figura 9 - un diagrama de circuito equivalente de un sistema de transmisión del componente de secuencia negativa para el supuesto de que el fallo se produzca en la sección de línea LC, figura 10 - un diagrama de circuito equivalente de un sistema de transmisión para el componente de secuencia cero para el supuesto de que el fallo se produzca en la sección de línea LC, y la figura 11 - un diagrama de circuito equivalente de un sistema de transmisión del componente de secuencia negativa para el supuesto de que el fallo se produzca en la sección de línea LA para el cálculo de la impedancia de los sistemas equivalentes, figura 12

5 - un diagrama de circuito equivalente para el componente de secuencia positiva incremental para el supuesto de que el fallo se produzca en la sección de línea LA para el cálculo de la impedancia de los sistemas equivalentes, figura 13 - muestra la red de acciones realizadas en la localización de fallos en la base del método de la invención para una línea de energía eléctrica de tres terminales, figura 14 - un diagrama general del sistema de transmisión para la aplicación del método de la invención para una línea de energía de múltiples terminales, figura 15 - un diagrama de circuito equivalente de un sistema de transmisión para componentes simétricos suponiendo que el fallo se encuentra en la primera sección de una línea de alimentación de múltiples terminales, figura 16 - un esquema equivalente de un sistema de transmisión para componentes simétricos para el supuesto de que el fallo se encuentre en la sección de extremo de una línea de energía de múltiples terminales, figura 17 - un fragmento del diagrama de circuito equivalente de un sistema de transmisión para componentes simétricos suponiendo que el fallo se encuentre en una sección de una línea de derivación de una línea de energía de múltiples terminales, figura 18 - un fragmento del esquema equivalente de un sistema de transmisión para componentes simétricos para el supuesto de que el fallo se encuentre en una sección de una línea de alimentación de múltiples terminal entre dos puntos de derivación, la figura 19 muestra la red de las acciones realizadas en la localización de fallos sobre la base del método de la invención para una línea de energía eléctrica de múltiples terminales.

Un ejemplo de la realización de la invención para una línea de energía de tres terminales.

20 El sistema de transmisión mostrado en la figura 1 consiste en tres estaciones de energía eléctrica A, B y C. La estación A está situada en el inicio de la línea, la estación B al final de esta línea y la estación C después de la línea que en el punto de derivación T se ramifica hacia fuera de la línea entre las estaciones AB. El punto de derivación T divide el sistema de transmisión en tres secciones LA, LB y LC. En la estación A hay un localizador de fallos FL. La localización de fallos se realiza utilizando modelos de fallos y bucles de fallos para componentes simétricos y diferentes tipos de fallos, mediante la aplicación de coeficientes de reparto adecuados que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo, que se define como \underline{a}_{F1} , \underline{a}_{F2} , \underline{a}_{F0} y coeficientes de ponderación \underline{a}_1 , \underline{a}_2 , \underline{a}_0 , que definen el reparto de los componentes individuales en el modelo total de bucle de fallo. El análisis de las condiciones de contorno para diferentes tipos de fallos muestra que hay un cierto grado de libertad al determinar los coeficientes de acciones que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo. Su selección depende de la preferencia adoptada de la utilización de componentes de secuencia individuales dependiendo del tipo de fallo. En el ejemplo presentado de la realización de la invención, para asegurar la alta precisión de la localización del fallo, se calcula la caída de tensión en la resistencia de fallo usando:

- 35 - el componente de secuencia negativa de la corriente total de fallo para fallos de fase a tierra (a-g), (b-g), (c-g) y fallos de fase a fase (a-b), (b-c) y (c-a),
- el componente de secuencia negativa y el componente de secuencia cero de dobles fallos de fase a tierra (a-b-g), (b-c-g), (c-a-g),
- 40 - componente de secuencia positiva incremental para fallos trifásicos (a-b-c, a-b-c-g), para los que el valor de fallo se disminuye por el valor previo al fallo del componente de secuencia positiva de la corriente.

45 Ejemplos de coeficientes de reparto que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo se muestran en la tabla 1. El tipo de fallo se indica mediante símbolos: a- g, b-g, c-g, a-b, b-c, c-a, donde las letras a, b, c indican fases individuales, y la letra g indica la puesta a tierra, el índice 1 indica el componente de secuencia positiva, el índice 2 el componente negativo, y el índice 0 el componente de secuencia cero.

50 TABLA 1.

Fallo (F)	\underline{a}_{F1}	\underline{a}_{F2}	\underline{a}_{F0}
a-g	0	3	0
b-g	0	$3\underline{a}$	0
c-g	0	$3\underline{a}^2$	0
a-b	0	$1-\underline{a}$	0
b-c	0	$\underline{a}-\underline{a}^2$	0
c-a	0	\underline{a}^2-1	0
$\underline{a} = \exp(j2\pi/3); \quad \underline{j} = \sqrt{-1}$			

Mediciones sincronizadas de las corrientes de fase de las estaciones A, B, C y de las tensiones de fase desde la

estación A se suministran al localizador de fallos FL. Además, se supone que el localizador de fallos se suministra con información sobre el tipo de fallo y el momento de su ocurrencia. El proceso de localización de fallos, asumiendo que es un fallo del tipo (a-b-g) - fallo doble de fase a tierra, es el siguiente:

5 **I. Primera etapa**

1. En las estaciones A, B, C se miden las señales de entrada de corriente de las líneas individuales de las condiciones de fallo y pre-fallo. En la estación A se miden las tensiones de fase de la línea en condiciones de fallo y pre-fallo. A continuación, se calculan los componentes simétricos de las corrientes de fase medidas en las estaciones A, B, C y las tensiones de fase medidas en la estación A.

2. La corriente total de fallo (I_F) se calcula a partir de esta ecuación:

$$I_F = a_{F1} I_{F1} + a_{F2} I_{F2} + a_{F0} I_{F0} \tag{1}$$

15 donde:

el primer subíndice "F" indica una condición de fallo, el segundo subíndice "1" indica el componente de secuencia positiva, "2" - el componente negativo, "0" - componente de secuencia cero,

y los coeficientes de reparto que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo son como sigue:

$$a_{F1} = 0,$$

$$a_{F2} = a_{F2}^{init} - \frac{a_{F1}^{init} b_{F2}}{b_{F1}},$$

$$a_{F0} = \frac{a_{F1}^{init}}{b_{F1}},$$

30 que, en particular para el fallo a-b-g:

$$a_{F1}^{init} = 1 - a^2,$$

$$a_{F2}^{init} = 1 - a,$$

$$b_{F1} = -a,$$

$$b_{F2} = -a^2,$$

$$a = \exp^{j2\pi/3} = -0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2},$$

$$I_{F1} = I_{A1} + I_{B1} + I_{C1} \tag{2},$$

$$I_{F2} = I_{A2} + I_{B2} + I_{C2} \tag{3},$$

$$\underline{I}_{F0} = \underline{I}_{A0} + \underline{I}_{B0} + \underline{I}_{C0} \quad (4).$$

donde: el primer subíndice indica la estación, el segundo índice indica: 1 - el componente de secuencia positiva, 2 - el componente negativo, 0 - el componente de secuencia cero.

Para fallos de otros tipos, los coeficientes de reparto que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo y los "coeficientes de relación" se compilan en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 2.

Fallo (F)	Coeficiente de reparto inicial que determina la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo			Coeficiente de relación	
	$\underline{a}_{F1}^{init.}$	$\underline{a}_{F2}^{init.}$	$\underline{a}_{F0}^{init.}$	\underline{b}_{F1}	\underline{b}_{F2}
a-b-g	$1 - \underline{a}^2$	$1 - \underline{a}$	0	$-\underline{a}$	$-\underline{a}^2$
b-c-g	$\underline{a}^2 - \underline{a}$	$\underline{a} - \underline{a}^2$	0	-1	-1
c-a-g	$\underline{a} - 1$	$\underline{a}^2 - 1$	0	$-\underline{a}^2$	$-\underline{a}$

Tabla 3.

Fallo (F)	coeficiente de reparto que determinar la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo		
	\underline{a}_{F1}	$\underline{a}_{F2}^{)*}$	\underline{a}_{F0}
a-b-c, a-b-c-g	$1 - \underline{a}^2$	$1 - \underline{a}$	0

)* - debido a la falta del componente negativo de este coeficiente puede ser adoptado como = 0

II. Segunda etapa

En la segunda etapa, se supone un punto de fallo hipotético y se calcula la distancia entre el extremo de la sección de línea dada y el punto del fallo hipotético en los siguientes supuestos:

- cálculo de la distancia desde el principio de la línea hasta el punto de fallo suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LA - acciones 3.1.a - 3.2.a,
- cálculo de la distancia desde el extremo de la línea hasta el punto de fallo suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LB - acciones 3.1.b - 3.4.b,
- cálculo de la distancia desde el extremo de la línea derivada hasta el punto de fallo suponiendo que el fallo se produjo en la línea de sección LC - acciones 3.1.c - 3.3.c.

3.1.a. La tensión de bucle de fallo y la corriente se determinan a partir de las siguientes relaciones entre los componentes simétricos (figuras 2 a 4):

$$\underline{V}_{Ap} = \underline{a}_1 \underline{V}_{A1} + \underline{a}_2 \underline{V}_{A2} + \underline{a}_0 \underline{V}_{A0} \quad (5),$$

$$\underline{I}_{Ap} = \underline{a}_1 \underline{I}_{A1} + \underline{a}_2 \underline{I}_{A2} + \underline{a}_0 \frac{\underline{Z}_{0LA}}{\underline{Z}_{1LA}} \underline{I}_{A0} \quad (6)$$

donde:

$\underline{V}_{A1}, \underline{V}_{A2}, \underline{V}_{A0}$ - tensión medida en la estación A para componentes simétricos individuales, componente de secuencia positiva - índice 1, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia cero - índice 0.
 $\underline{I}_{A1}, \underline{I}_{A2}, \underline{I}_{A0}$ - corrientes medidas en la estación A para el componente de secuencia positiva - índice 1,

componente negativo - índice 2 y componente de secuencia cero - índice 0,
 Z_{1LA} - impedancia de la sección de línea LA para el componente de secuencia positiva,
 Z_{0LA} - impedancia de la sección de línea LA para el componente de secuencia cero,

5 En particular, para fallo a-b-g, los coeficientes de ponderación son los siguientes:

$$\underline{a}_1 = 1 - \underline{a}^2,$$

$$\underline{a}_2 = 1 - \underline{a},$$

10

$$\underline{a}_0 = 0.$$

Los coeficientes de ponderación para otros tipos de fallos se resumen en la tabla 4.

15

Tabla 4.

Fallo	\underline{a}_1	\underline{a}_2	\underline{a}_0
a-g	1	1	1
b-g	\underline{a}^2	\underline{a}	1
c-g	\underline{a}	\underline{a}^2	1
a-b, a-b-g a-b-c, a-b-c-g	$1 - \underline{a}^2$	$1 - \underline{a}$	0
b-c, b-c-g	$\underline{a}^2 - \underline{a}$	$\underline{a} - \underline{a}^2$	0
c-a, c-a-g	$\underline{a} - 1$	$\underline{a}^2 - 1$	0

La ecuación de fallo de bucle tiene la siguiente forma:

20

$$\underline{V}_{Ap} - d_A \underline{Z}_{1LA} \underline{I}_{Ap} - R_{FA} \underline{I}_F = 0 \quad (7).$$

Cuando la ecuación (7) ha sido escrito por separado para la parte real y la parte imaginaria y se han realizado otras transformaciones matemáticas, se obtienen las soluciones mostradas bajo 3.2a.

25

3.2a. La distancia hasta el punto del fallo d_A y la resistencia de fallo R_{FA} se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$d_A = \frac{\text{real}(\underline{V}_{Ap})\text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{V}_{Ap})\text{real}(\underline{I}_F)}{\text{real}(\underline{Z}_{1LA} \underline{I}_{Ap})\text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{Z}_{1LA} \underline{I}_{Ap})\text{real}(\underline{I}_F)} \quad (8),$$

30

$$R_{FA} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(\underline{V}_{Ap}) - d_A \text{real}(\underline{Z}_{1LA} \underline{I}_{Ap})}{\text{real}(\underline{I}_F)} + \frac{\text{imag}(\underline{V}_{Ap}) - d_A \text{imag}(\underline{Z}_{1LA} \underline{I}_{Ap})}{\text{imag}(\underline{I}_F)} \right] \quad (9),$$

donde:

35

- "real" indica la parte real de la cantidad dada,
- "imag" indica la parte imaginaria de la cantidad dada,
- \underline{V}_{Ap} - indica la tensión de bucle de fallo como por la fórmula (5)
- \underline{I}_F - indica la corriente de fallo total, como por la fórmula (1),
- \underline{Z}_{1LA} - indica la impedancia de la sección de la línea LA para el componente de secuencia positiva,
- \underline{I}_{Ap} - indica la corriente de bucle de fallo determinada según la fórmula (6).

40

3.1.b. Se calculan las tensiones para componentes simétricos $\underline{V}_{T1}^{transf.}$, $\underline{V}_{T2}^{transf.}$, $\underline{V}_{T0}^{transf.}$ (figuras 5 a 7) en el punto de derivación T:

$$\underline{V}_{T1}^{transf.} = \cosh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{V}_{A1} - \underline{Z}_{c1LA} \sinh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{I}_{A1},$$

$$\underline{V}_{T2}^{transf.} = \cosh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{V}_{A2} - \underline{Z}_{c1LA} \sinh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{I}_{A2},$$

$$\underline{V}_{T0}^{transf.} = \cosh(\gamma_{0LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{V}_{A0} - \underline{Z}_{c0LA} \sinh(\gamma_{0LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{I}_{A0},$$

donde:

5

γ_{1LA} - propagación constante de la sección de línea LA para los componentes de secuencia positiva y negativa,

γ_{0LA} - propagación constante de la sección de línea LA para el componente de secuencia cero,

ℓ_{LA} longitud de la sección de línea LA,

\underline{Z}_{c1LA} - impedancia característica de la sección LA para los componentes de secuencia positiva y negativa,

10 \underline{Z}_{c0LA} - impedancia característica de la sección LA para el componente de secuencia cero.

3.2.b. Los valores de las corrientes entrantes al punto de derivación T desde la sección de línea

LA: $\underline{I}_{A1}^{transf.}$, $\underline{I}_{A2}^{transf.}$, $\underline{I}_{A0}^{transf.}$ y sección LC: $\underline{I}_{C1}^{transf.}$, $\underline{I}_{C2}^{transf.}$, $\underline{I}_{C0}^{transf.}$ (fig.5-7)

$$\underline{I}_{A1}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c1LA}) \cdot \sinh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{V}_{A1} + \cosh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{I}_{A1},$$

$$\underline{I}_{A2}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c1LA}) \cdot \sinh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{V}_{A2} + \cosh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{I}_{A2},$$

$$\underline{I}_{A0}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c0LA}) \cdot \sinh(\gamma_{0LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{V}_{A0} + \cosh(\gamma_{0LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{I}_{A0},$$

15

$$\underline{I}_{C1}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c1LC}) \cdot \tanh(\gamma_{1LC} \ell_{LC}) \cdot \underline{V}_{T1}^{transf.} + (1/\cosh(\gamma_{1LC} \ell_{LC})) \cdot \underline{I}_{C1},$$

$$\underline{I}_{C2}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c1LC}) \cdot \tanh(\gamma_{1LC} \ell_{LC}) \cdot \underline{V}_{T2}^{transf.} + (1/\cosh(\gamma_{1LC} \ell_{LC})) \cdot \underline{I}_{C2},$$

$$\underline{I}_{C0}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c0LC}) \cdot \tanh(\gamma_{0LC} \ell_{LC}) \cdot \underline{V}_{T0}^{transf.} + (1/\cosh(\gamma_{0LC} \ell_{LC})) \cdot \underline{I}_{C0},$$

20

donde:

25

γ_{1LC} - propagación constante de la línea, sección LC para los componentes de secuencia positiva y negativa,

γ_{0LC} - propagación constante de la sección de línea LC para el componente de secuencia cero,

\underline{Z}_{c1LC} - impedancia de la sección LC para los componentes de secuencia positiva y negativa,

\underline{Z}_{c0LC} - impedancia de la sección LC para el componente de secuencia cero,

ℓ_{LC} - longitud de la sección de la línea LC.

30

3.3.b. Los valores de corriente $\underline{I}_{TB1}^{transf.}$, $\underline{I}_{TB2}^{transf.}$, $\underline{I}_{TB0}^{transf.}$ que circula desde el punto de derivación T a la estación B en la sección de línea LB se calculan:

$$\underline{I}_{TB1}^{transf.} = \underline{I}_{A1}^{transf.} + \underline{I}_{C1}^{transf.},$$

$$\underline{I}_{TB2}^{transf.} = \underline{I}_{A2}^{transf.} + \underline{I}_{C2}^{transf.},$$

$$\underline{I}_{TB0}^{transf.} = \underline{I}_{A0}^{transf.} + \underline{I}_{C0}^{transf.}.$$

5

10 La ecuación de fallo de bucle tiene la siguiente forma:

$$\underline{V}_{Tp} - (1 - d_B) \underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp} - R_{FB} \underline{I}_F = 0 \quad (10),$$

donde:

15

$$\underline{V}_{Tp} = \underline{a}_1 \underline{V}_{T1}^{transf.} + \underline{a}_2 \underline{V}_{T2}^{transf.} + \underline{a}_0 \underline{V}_{T0}^{transf.}$$

$$\underline{I}_{TBp} = \underline{a}_1 \underline{I}_{TB1}^{transf.} + \underline{a}_2 \underline{I}_{TB2}^{transf.} + \underline{a}_0 \frac{\underline{Z}_{OLB}}{\underline{Z}_{ILB}} \underline{I}_{TB0}^{transf.} \quad (11).$$

20 Cuando la ecuación (10) ha sido escrita por separado para la parte real y la parte imaginaria y se han realizado otras transformaciones matemáticas, se obtienen las soluciones mostradas bajo 3.4b.

3.4.b. La distancia al fallo punto d_B y la resistencia de fallo R_{FB} se calculan a partir de las siguientes ecuaciones:

25

$$d_B = \frac{-\text{real}(\underline{V}_{Tp} - \underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp}) \text{imag}(\underline{I}_F) + \text{imag}(\underline{V}_{Tp} - \underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp}) \text{real}(\underline{I}_F)}{\text{real}(\underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp}) \text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp}) \text{real}(\underline{I}_F)} \quad (12),$$

$$R_{FB} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(\underline{V}_{Tp}) - (1 - d_B) \cdot \text{real}(\underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp})}{\text{real}(\underline{I}_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(\underline{V}_{Tp}) - (1 - d_B) \cdot \text{imag}(\underline{Z}_{ILB} \underline{I}_{TBp})}{\text{imag}(\underline{I}_F)} \right] \quad (13),$$

donde:

30

\underline{Z}_{ILB} - impedancia de la sección de línea LB para el componente de secuencia positiva,
 \underline{Z}_{OLB} - impedancia de la sección de línea LB para el componente de secuencia cero.

3.1.c. Los valores de las corrientes entrantes al punto de derivación T (figuras 8 a 10) a partir de secciones de línea

35

LA $\underline{I}_{A1}^{transf.}$, $\underline{I}_{A2}^{transf.}$, $\underline{I}_{A0}^{transf.}$ y la sección LB $\underline{I}_{B1}^{transf.}$, $\underline{I}_{B2}^{transf.}$, $\underline{I}_{B0}^{transf.}$ se calculan de acuerdo con estas fórmulas:

$$\underline{I}_{B1}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{cILB}) \cdot \tanh(\gamma_{ILB} \ell_{LB}) \cdot \underline{V}_{T1}^{transf.} + (1/\cosh(\gamma_{ILB} \ell_{LB})) \cdot \underline{I}_{B1},$$

$$\underline{I}_{B2}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{cILB}) \cdot \tanh(\gamma_{ILB} \ell_{LB}) \cdot \underline{V}_{T2}^{transf.} + (1/\cosh(\gamma_{ILB} \ell_{LB})) \cdot \underline{I}_{B2},$$

40

$$\underline{I}_{B0}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c0LB}) \cdot \tanh(\gamma_{0LB} \ell_{LB}) \cdot \underline{V}_{T0}^{transf.} + (1/\cosh(\gamma_{0LB} \ell_{LB})) \cdot \underline{I}_{B0},$$

$$\underline{I}_{A1}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c1LA}) \cdot \sinh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{V}_{A1} + \cosh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{I}_{A1},$$

$$\underline{I}_{A2}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c1LA}) \cdot \sinh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{V}_{A2} + \cosh(\gamma_{1LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{I}_{A2},$$

$$\underline{I}_{A0}^{transf.} = (-1/\underline{Z}_{c0LA}) \cdot \sinh(\gamma_{0LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{V}_{A0} + \cosh(\gamma_{0LA} \ell_{LA}) \cdot \underline{I}_{A0},$$

5 donde:

γ_{1LB} - propagación constante de la sección de línea LB para los componentes de secuencia positiva y negativa,

γ_{0LB} - propagación constante de la sección de línea LB para el componente de secuencia cero,

10 ℓ_{LB} - longitud de la sección de línea LB.

\underline{Z}_{c1LB} - impedancia de la sección LB para la secuencia positiva y los componentes negativos,

\underline{Z}_{c0LB} - impedancia de la sección LB para el componente de secuencia cero.

15 **3.2.c.** El valor de la corriente $\underline{I}_{TC1}^{transf.}$, $\underline{I}_{TC2}^{transf.}$, $\underline{I}_{TC0}^{transf.}$ que circula desde el punto de derivación T hasta la estación C en la sección de línea LC (figuras 8 a 10) se calcula:

$$\underline{I}_{TC1}^{transf.} = \underline{I}_{A1}^{transf.} + \underline{I}_{B1}^{transf.},$$

$$\underline{I}_{TC2}^{transf.} = \underline{I}_{A2}^{transf.} + \underline{I}_{B2}^{transf.},$$

$$\underline{I}_{TC0}^{transf.} = \underline{I}_{A0}^{transf.} + \underline{I}_{B0}^{transf.}$$

La ecuación de fallo de bucle tiene la siguiente forma:

$$\underline{V}_{Tp} - (1 - d_C) \underline{Z}_{ILC} \underline{I}_{TCp} - R_{FC} \underline{I}_F = 0 \quad (14)$$

donde:

$$\underline{V}_{Tp} = \underline{a}_1 \underline{V}_{T1}^{transf.} + \underline{a}_2 \underline{V}_{T2}^{transf.} + \underline{a}_0 \underline{V}_{T0}^{transf.}$$

$$\underline{I}_{TCp} = \underline{a}_1 \underline{I}_{TC1}^{transf.} + \underline{a}_2 \underline{I}_{TC2}^{transf.} + \underline{a}_0 \frac{\underline{Z}_{0LC}}{\underline{Z}_{ILC}} \underline{I}_{TC0}^{transf.} \quad (15)$$

Cuando la ecuación (13) ha sido escrita por separado para la parte real y la parte imaginaria y se han realizado otras transformaciones matemáticas, se obtienen las soluciones mostradas bajo 3.3.c.

3.3.c. La distancia al punto de fallo d_C y resistencia de fallo R_{FC} se calculan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$d_C = \frac{-\text{real}(V_{Tp} - Z_{ILC} I_{TCp})\text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{Tp} - Z_{ILC} I_{TCp})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{ILC} I_{TCp})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{ILC} I_{TCp})\text{real}(I_F)} \quad (16),$$

$$R_{FC} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Tp}) - (1 - d_C) \cdot \text{real}(Z_{ILC} I_{TCp})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{Tp}) - (1 - d_C) \cdot \text{imag}(Z_{ILC} I_{TCp})}{\text{imag}(I_F)} \right] \quad (17).$$

5 III. Tercera etapa

En esta etapa se realiza la selección de los resultados finales.

10 4. Se comprueba si los resultados del cálculo de las distancias d_A , d_B , d_C hasta el punto de fallo están contenidas dentro del intervalo (0 ÷ 1) en unidades relativas:

$$\begin{aligned} 0 &\leq d_A \leq 1, \\ 0 &\leq d_B \leq 1, \\ 0 &\leq d_C \leq 1. \end{aligned}$$

15 Los resultados que no están incluidos en el intervalo dado muestran que se han calculado sobre una falsa hipótesis previa sobre el punto de ocurrencia del fallo en la sección de línea dada. Estos resultados se rechazan.

20 5. El segundo valor calculado, es decir, la resistencia de fallo R_{FA} , R_{FB} , R_{FC} , se analiza y los resultados de los cálculos para los que la resistencia de fallo es negativa se rechazan.

25 6. Si el análisis de los criterios como en las acciones 4 y 5 no indica claramente qué valores definen la posición del fallo, entonces en acciones posteriores se calcula la impedancia de los sistemas de fuentes equivalentes para el componente negativo en el caso de fallos de fase a tierra, fase a fase, doble fase a tierra, o, alternativamente, para el componente de secuencia positiva incremental. Para fallos trifásicos, se calcula la impedancia de los sistemas de fuentes equivalentes para el componente de secuencia positiva incremental.

30 7. La corriente I_{FA2} (figura 11) se calcula suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LA:

$$I_{FA2} = \frac{Z_{2SA} + Z_{2LA} + \underline{Q}_{BC2} (Z_{2LB} + Z_{2SB})}{(1 - d_A)Z_{2LA} + \underline{Q}_{BC2} (Z_{2LB} + Z_{2SB})} I_{A2},$$

donde:

$$\underline{Q}_{BC2} = \frac{I_{B2}}{I_{B2} + I_{C2}},$$

35 8. La impedancia de origen equivalente $(Z_{2SB})_{SUB_A}$ se calcula suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LA:

$$(Z_{2SB})_{SUB_A} = \frac{G_{2A} I_{A2} - H_{2A} I_{FA2}}{\underline{Q}_{BC2} (I_{FA2} - I_{A2})}, \quad (18),$$

40 donde:

$$G_{2A} = Z_{2SA} + Z_{2LA} + \underline{Q}_{BC2} Z_{2LB},$$

$$45 H_{2A} = (1 - d_A)Z_{2LA} + \underline{Q}_{BC2} Z_{2LB},$$

$$\underline{Z}_{2SA} = \frac{-\underline{V}_{A2}}{\underline{I}_{A2}}$$

5 9. La impedancia de origen equivalente $(\underline{Z}_{2SC})_{SUB_A}$ se calcula suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LA:

$$(\underline{Z}_{2SC})_{SUB_A} = (\underline{Z}_{2LB} + (\underline{Z}_{2SB})_{SUB_A}) \frac{\underline{I}_{B2}}{\underline{I}_{C2}} - \underline{Z}_{2LC} \quad (19).$$

10 10. La impedancia de origen equivalente $(\underline{Z}_{2SB})_{SUB_B}$ se calcula suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LB:

$$(\underline{Z}_{2SB})_{SUB_B} = \frac{(1-d_B)\underline{Z}_{2LB} \underline{I}_{TB2}^{transf.} - d_B \underline{Z}_{2LB} \underline{I}_{B2} - \underline{V}_{T2}^{transf.}}{\underline{I}_{B2}} \quad (20).$$

15 11. La impedancia de origen equivalente $(\underline{Z}_{2SC})_{SUB_B}$ se calcula suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LB:

$$(\underline{Z}_{2SC})_{SUB_B} = -\frac{\underline{V}_{C2}}{\underline{I}_{C2}} \quad (21).$$

20 donde:

$$\underline{V}_{C2} = \cosh(\gamma_{2LC} \ell_{LC}) \cdot \underline{V}_{T2}^{transf.} + \underline{Z}_{c2LC} \sinh(\gamma_{2LC} \ell_{LC}) \cdot \underline{I}_{C2}^{transf.},$$

$$\gamma_{2LC} = \gamma_{ILC},$$

$$\underline{Z}_{c2LC} = \underline{Z}_{cILC}$$

25 12. La impedancia de origen equivalente $(\underline{Z}_{2SB})_{SUB_C}$ se calcula suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LC:

$$(\underline{Z}_{2SC})_{SUB_C} = \frac{(1-d_C)\underline{Z}_{2LC} \underline{I}_{TC2}^{transf.} - d_C \underline{Z}_{2LC} \underline{I}_{C2} - \underline{V}_{T2}^{transf.}}{\underline{I}_{C2}} \quad (22).$$

30 13. La impedancia de origen equivalente $(\underline{Z}_{2SB})_{SUB_C}$ se calcula suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LC:

$$(\underline{Z}_{2SB})_{SUB_C} = -\frac{\underline{V}_{B2}}{\underline{I}_{B2}} \quad (23),$$

35 donde:

$$\underline{V}_{B2} = \cosh(\gamma_{2LB} \ell_{LB}) \cdot \underline{V}_{T2}^{transf.} + \underline{Z}_{c2LB} \sinh(\gamma_{2LB} \ell_{LB}) \cdot \underline{I}_{B2}^{transf.}$$

40 14. Las impedancias de las fuentes equivalentes calculadas se transforman en una forma modular, con lo cual el resultado apropiado se selecciona sobre la base del módulo de las impedancias del sistema de origen equivalente.

Si el valor calculado del módulo de las impedancias del sistema de origen equivalente, suponiendo la ocurrencia del fallo en la sección de línea dada, no se corresponde con el valor real del módulo de impedancia del sistema de origen, significa que los datos preliminares sobre la posición de ocurrencia del fallo en la sección correspondiente se han asumido erróneamente, y el resultado del cálculo de la distancia hasta el punto de fallo sobre este supuesto se rechaza.

Si el valor del módulo de la impedancia de los sistemas fuente equivalentes calculado en la suposición de que el fallo se produjo en la sección de línea dada corresponde al valor real del módulo de la impedancia del sistema de origen equivalente, entonces el resultado del cálculo de la distancia al punto de fallo indica una suposición previa correcta y este resultado se considera definitivo.

La red de acciones que se muestran en la figura 13 incluye las siguientes acciones para la implementación de la invención:

- medición de la corriente y de la tensión como para el punto 1 del ejemplo de realización de la invención,
- determinación de los componentes simétricos de las corrientes y tensiones y cálculo de la corriente de fallo total, medida como para el punto 2 del ejemplo de realización de la invención,
- cálculo de tres distancias hipotéticas a los puntos de fallo y tres resistencias de fallo suponiendo que el fallo se produjo en la sección LA, la sección LB y la sección LC, como para los puntos: 3.1.a - 3.2.a, 3.1.b - 3.4.b, 3.1.c-3.3.c de la realización de ejemplo de la invención,
- comprobar si las distancias hipotéticas particulares están contenidas en el intervalo de 0 a 1 en unidades relativas y rechazo de esas distancias hipotéticas cuyos valores son negativos o mayores de 1, según el punto 4 del ejemplo de realización de la invención,
- comprobar si los valores de resistencia de fallo son más grandes o iguales a cero y rechazar los valores menores que cero, según el punto 5 de la realización de ejemplo de la invención,
- cálculo de la impedancia de fuentes equivalentes de secciones individuales suponiendo que el fallo se produjo en la sección dada, como para los puntos 8-13 del ejemplo de realización de la invención,
- selección del resultado correcto, como para el punto 14 del ejemplo de realización de la invención.

El ejemplo descrito se aplica a un fallo de doble fase a tierra del tipo (a-b-g). Sin embargo, este método es análogo para otros tipos de fallos. Si se analizan otros tipos de fallos, los coeficientes relevantes a_{F1} , a_{F2} , a_{F0} , a_1 , a_2 , a_0 cambian. Los valores de estos coeficientes se compilan en las Tablas 1 a 4. El método para la localización de fallos en líneas de transmisión de energía eléctrica de tres terminales de acuerdo con la presente invención abarca también otros tipos de fallos, es decir, (a-g, b-g, c-g, a-b, b-c, c-a, b-c-g, c-a-g, a-b-c, a-b-c-g). El método de la invención no se limita a un modelo de línea presentado en el ejemplo del análisis, sino que se puede aplicar a otro modelo, que no se muestra en la figura, en cuyo modelo se asume la presencia de condensadores de compensación en serie en la sección de línea con un fallo. En tal caso, las ecuaciones (6), (11), (15) aplicables a la corriente de bucle de fallo se pueden modificar debido a la existencia de estos condensadores. El método de la invención utiliza mediciones sincrónicas de las corrientes en tres estaciones de la red de transporte o distribución, además, emplea la medición de tensión en la estación donde está instalado el localizador de fallos. Tal disponibilidad de las señales de entrada no se considera en otras soluciones que están actualmente en uso.

La selección del resultado válido se basa en la agregación de tres cantidades criterio: distancia al punto de fallo, resistencia de fallo en el punto de fallo y el módulo de la impedancia de los sistemas de fuente equivalentes para esas estaciones en las que no se mide la tensión. Este tercer criterio es innovador y no se ha conocido hasta ahora.

Un ejemplo de la realización de la invención para una línea de energía de múltiples terminales.

El sistema de transmisión o distribución que se muestra en la figura 14 consiste de 1, 2, ..., n estaciones de energía eléctrica. La estación 1 se encuentra al principio de la línea, la n^ª estación está en el extremo de la línea. Los puntos de derivación T1, T2, ..T(n-1) dividen el sistema de transmisión en secciones de línea L1, L2, ..., L(2n-3). En la estación 1 hay un localizador de fallos FL. La localización de fallos se realiza utilizando modelos de fallos y bucles de fallos para componentes simétricos y teniendo en cuenta los diferentes tipos de fallos al mismo tiempo, mediante la aplicación de coeficientes de reparto adecuados que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima una caída de tensión a través de la resistencia de fallo, definida como a_{F1} , a_{F2} , a_{F0} y coeficientes de ponderación a_1 , a_2 , a_0 que definen la compartición de los componentes individuales en el modelo total de un bucle de fallo. El análisis de las condiciones límite para los diferentes tipos de fallos indica la existencia de un cierto grado de libertad en la determinación de los coeficientes de reparto para determinar la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo. Su selección depende de la preferencia adoptada en el uso de componentes individuales,

dependiendo del tipo de fallo. En el ejemplo presentado de la realización de la invención, para asegurar una alta precisión de la localización del fallo, la caída de tensión en la resistencia de fallo se calcula usando:

- 5 - el componente negativo de la corriente total de fallo para fallos de fase a tierra (a-g), (b-g), (c-g) y fallos de fase a fase (a-b), (b-c) y (c-a),
- el componente negativo y el componente de secuencia cero de fallos de doble fase a tierra (a-b-g), (b-c-g), (c-a-g),
- 10 - componente de secuencia positiva incremental para fallos trifásicos (a-b-c, a-b-c-g) para los que el valor de fallo se reduce mediante el valor de fallo previo del componente de secuencia positiva de corriente.

15 Los coeficientes de reparto recomendados que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo se presentan en la Tabla 5. El tipo de fallo se indica mediante los símbolos: a-g, b-g, c-g, a-b, b-c, c-a, a-b-g, b-c-g, c-a-g, a-b-c, a-b-c-g, donde las letras a, b, c indican fases individuales de la corriente, y la letra g indica la conexión a tierra (tierra), el índice 1 indica el componente de secuencia positiva, el índice 2 - el componente de secuencia negativa, y el índice 0 - el componente de secuencia cero.

20 TABLA 5.

Fallo	\underline{a}_{F1}	\underline{a}_{F2}	\underline{a}_{F0}
a-g	0	3	0
b-g	0	$1.5 + j1.5\sqrt{3}$	0
c-g	0	$-1.5 - j1.5\sqrt{3}$	0
a-b	0	$1.5 - j1.5\sqrt{3}$	0
b-c	0	$j\sqrt{3}$	0
c-a	0	$-1.5 - j0.5\sqrt{3}$	0
a-b-g	0	$3 - j\sqrt{3}$	$j\sqrt{3}$
b-c-g	0	$j2\sqrt{3}$	$j\sqrt{3}$
c-a-g	0	$-3 - j\sqrt{3}$	$j\sqrt{3}$
a-b-c a-b-c-a	$1.5 + j0.5\sqrt{3}$	$1.5 - j0.5\sqrt{3}$ *)	0

*) - debido a la falta del componente negativo este coeficiente puede ser adoptado como = 0

25 En la tabla 6 se compilan coeficientes de reparto de los componentes de corriente individuales \underline{a}_1 , \underline{a}_2 , \underline{a}_0 , que definen el reparto de los componentes individuales en el modelo total de bucle de fallo.

TABLA 6.

FALLO	\underline{a}_1	\underline{a}_2	\underline{a}_0
a-g	1	1	1
b-g	$-0.5 - j0.5\sqrt{3}$	$0.5 + j0.5\sqrt{3}$	1
c-g	$0.5 + j0.5\sqrt{3}$	$-0.5 - j0.5\sqrt{3}$	1
a-b, a-b-g a-b-c, a-b-c-p	$1.5 + j0.5\sqrt{3}$	$1.5 - j0.5\sqrt{3}$	0
b-c, b-c-g-	$-j\sqrt{3}$	$j\sqrt{3}$	0

FALLO	a_1	a_2	a_0
c-a, c-a-g	$-1.5 + j0.5\sqrt{3}$	$-1.5 - j0.5\sqrt{3}$	0

Las mediciones sincronizadas de las corrientes de fase de todas las estaciones terminales de las líneas 1, 2, ..., n y las tensiones de fase solamente desde la estación 1 se suministran al localizador de fallos FL. Además, se supone que la información sobre el tipo de fallo y el momento de su ocurrencia se suministra al localizador de fallos. El proceso de localización de fallos supone que se hay un fallo del tipo (a-b-g) de fallo de fase a fase a tierra como sigue:

I'. Primera etapa'

1'. Operación 610. Las señales de corriente de entrada de las líneas individuales a partir de las condiciones de fallo y previas al fallo se miden en las estaciones 1, 2, ..., n. Las tensiones de fase de la línea para las condiciones de fallo y previas al fallo se miden en la estación 1. A continuación, se calculan los componentes simétricos de las corrientes de fase medidas en las estaciones 1, 2, ..., n, y de las tensiones de fase medidas en la estación 1.

2'. Operación 620. La corriente total de fallo (I_F) se calcula a partir de esta ecuación:

$$I_F = a_{F1} I_{F1} + a_{F2} I_{F2} + a_{F0} I_{F0} \tag{24}$$

donde:

el primer subíndice "F" indica el estado de error, el segundo subíndice "1" indica el componente de secuencia positiva, "2" - el componente de secuencia negativa, "0", el componente de secuencia cero, a_{F1} , a_{F2} , a_{F0} - los coeficientes presentados en la tabla 2.

Los componentes simétricos de la corriente de fallo total se determinan como la suma de los componentes simétricos de las corrientes individuales determinadas en todas las estaciones terminales 1, 2, ..., N:

$$I_{F1} = I_{11} + I_{21} + I_{31} + \dots + I_{(n-1)1} + I_{n1} \tag{25},$$

$$I_{F2} = I_{12} + I_{22} + I_{32} + \dots + I_{(n-1)2} + I_{n2} \tag{26},$$

$$I_{F0} = I_{10} + I_{20} + I_{30} + \dots + I_{(n-1)0} + I_{n0} \tag{27}.$$

donde: el primer subíndice indica la estación, el segundo subíndice indica:

1 - el componente de secuencia positiva, 2 - el componente negativo, 0 - el componente de secuencia cero.

II'. Segunda etapa'

En la segunda etapa' se supone un punto de fallo hipotético y se calcula la distancia entre el extremo de la línea determinada y el punto del fallo hipotético (acciones realizadas en las operaciones 630a, 630b, 630c, 630d), sobre los siguientes supuestos:

- cálculo de la distancia desde el principio de la línea hasta el punto de fallo suponiendo que el fallo se produjo en la primera sección de la línea L1 - acciones 3.1.a'
- cálculo de la distancia desde el extremo de la línea hasta el punto de fallo suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea de terminal L(2n-3) - acciones 3.1.b'- 3.3.b'.
- cálculo de la distancia desde el extremo de la línea derivada hasta el punto de fallo suponiendo que el fallo se encuentra en el k línea derivada - acciones 3.1.c'- 3.2.c',
- cálculo de la distancia desde el punto de derivación T(k) hasta el punto de fallo suponiendo que el fallo se encuentra en la sección de línea entre dos puntos de derivación - acciones 3.1.d' - 3.3d'.

3.1.a'. La tensión y la corriente del bucle de fallo se determinan a partir de la relación entre los componentes

simétricos (figura 2 a 4), (acciones realizadas en las operaciones 630a):

$$\underline{V}_{1p} = a_1 \underline{V}_{11} + a_2 \underline{V}_{12} + a_0 \underline{V}_{10} \quad (28),$$

$$\underline{I}_{1p} = a_1 \underline{I}_{11} + a_2 \underline{I}_{12} + a_0 \frac{\underline{Z}_{0L1}}{\underline{Z}_{1L1}} \underline{I}_{10} \quad (29)$$

donde:

\underline{V}_{11} , \underline{V}_{12} , \underline{V}_{10} - tensión medida en la estación 1 (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, el componente de secuencia positiva - índice 1, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia cero - índice 0.

\underline{I}_{11} , \underline{I}_{12} , \underline{I}_{10} - corrientes medidas en la estación 1 (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, el componente de secuencia positiva - índice 1, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia cero - índice 0.

\underline{Z}_{1L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia positiva,

\underline{Z}_{0L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia cero,

a_1, a_2, a_0 , - coeficientes de ponderación compilados en la Tabla 2.

La ecuación de fallo de bucle tiene la siguiente forma:

$$\underline{V}_{1p} - d_1 \underline{Z}_{1L1} \underline{I}_{1p} - R_{1F} \underline{I}_F = 0 \quad (30)$$

Cuando la ecuación (30) ha sido escrita por separado para la parte real y la parte imaginaria y se han realizado nuevas transformaciones matemáticas, se obtienen estas ecuaciones para la distancia buscada en el punto de fallo (31) y la resistencia de fallo (32).

$$d_1 = \frac{\text{real}(\underline{V}_{1p}) \text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{V}_{1p}) \text{real}(\underline{I}_F)}{\text{real}(\underline{Z}_{1L1} \underline{I}_{1p}) \text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{Z}_{1L1} \underline{I}_{1p}) \text{real}(\underline{I}_F)} \quad (31),$$

$$R_{1F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(\underline{V}_{1p}) - d_1 \text{real}(\underline{Z}_{1L1} \underline{I}_{1p})}{\text{real}(\underline{I}_F)} + \frac{\text{imag}(\underline{V}_{1p}) - d_1 \text{imag}(\underline{Z}_{1L1} \underline{I}_{1p})}{\text{imag}(\underline{I}_F)} \right] \quad (32),$$

donde:

"real" indica la parte real de la cantidad compleja dada,

"imag" indica la parte imaginaria de la cantidad compleja dada,

\underline{V}_{1p} - indica la tensión de bucle de fallo como para la fórmula (28)

\underline{I}_F - indica la corriente de fallo total, como para la fórmula (25),

\underline{Z}_{1L1} - indica la impedancia de la sección de línea L1 del componente de secuencia positiva,

\underline{I}_{1p} - indica la corriente de bucle de fallo determinada según la fórmula (29).

3.1.b'. Las tensiones para los componentes simétricos $\underline{V}_{T11}^{transf.}$, $\underline{V}_{T12}^{transf.}$, $\underline{V}_{T10}^{transf.}$ se calculan en el primer punto de derivación T2, (acciones realizadas en las operaciones 630b):

$$\underline{V}_{T2i}^{transf.} = \underline{V}_{1i} - \underline{Z}_{1L1} \cdot \underline{I}_{1i}, \quad (33)$$

donde:

\underline{Z}_{1L1} - impedancia de sección L1, respectivamente, para los componentes positivos y negativos y para el componente de secuencia cero.

3.2.b'. Las tensiones para los componentes simétricos $\underline{V}_{T(n-1)1}^{transf.}$, $\underline{V}_{T(n-1)2}^{transf.}$, $\underline{V}_{T(n-1)0}^{transf.}$ en el punto de derivación final de T(n-1) se calculan (acciones realizadas en operaciones 630b):

$$\underline{V}_{T(n-1)i}^{transf.} = \underline{V}_{T(n-2)i}^{transf.} - \underline{Z}_{iL(2n-3)} \cdot \sum_{j=1}^{n-2} \underline{I}_{ji} \quad (34)$$

5
donde:

$\underline{Z}_{iL(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3), respectivamente, para los componentes positivos y negativos y para el componente de secuencia cero.

10 En las mismas tensiones de tiempo en el k^a punto de derivación $\underline{V}_{Tk1}^{transf.}$, $\underline{V}_{Tk2}^{transf.}$, $\underline{V}_{Tk0}^{transf.}$ se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$\underline{V}_{Tki}^{transf.} = \underline{V}_{T(k-1)i}^{transf.} - \underline{Z}_{iL(2k-3)} \cdot \sum_{j=1}^{k-1} \underline{I}_{ji} \quad (35)$$

15
donde:

$\underline{V}_{T(k-1)i}^{transf.}$ - tensión calculada en el punto (k-1),
 $\underline{Z}_{iL(2k-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-3) para los componentes simétricos.

20 3.3.b'. Los valores de corriente $\underline{I}_{T(n-1)n1}^{transf.}$, $\underline{I}_{T(n-1)n2}^{transf.}$, $\underline{I}_{T(n-1)n0}^{transf.}$ que circula desde el punto de derivación T(n-1) hasta la estación n en la sección de línea L(2n-3) se calculan, (acciones realizadas en operaciones 630b):

$$\underline{I}_{T(n-1)ni}^{transf.} = \sum_{j=1}^{n-1} \underline{I}_{ji} \quad (36)$$

25 La ecuación de fallo de bucle tiene la siguiente forma:

$$\underline{V}_{T(n-1)np} - (1 - d_{(2n-3)}) \underline{Z}_{iL(2n-3)} \underline{I}_{T(n-1)np} - R_{(2n-3)F} \underline{I}_F = 0 \quad (37)$$

30 donde:

$$\underline{V}_{T(n-1)np} = \underline{a}_1 \underline{V}_{T(n-1)1}^{transf.} + \underline{a}_2 \underline{V}_{T(n-1)2}^{transf.} + \underline{a}_0 \underline{V}_{T(n-1)0}^{transf.} \quad (37a)$$

$$\underline{I}_{T(n-1)np} = \underline{a}_1 \underline{I}_{T(2n-1)n1}^{transf.} + \underline{a}_2 \underline{I}_{T(n-1)n2}^{transf.} + \underline{a}_0 \frac{\underline{Z}_{0L(2n-3)}}{\underline{Z}_{iL(2n-3)}} \underline{I}_{T(n-1)n0}^{transf.} \quad (37b)$$

35 Cuando la ecuación (37) ha sido escrita por separado para la parte real y la parte imaginaria y se han realizado otras transformaciones matemáticas, se obtienen las soluciones para la distancia buscada hasta el punto de fallo $d_{(2n-3)}$ (38) y la resistencia de fallo $R_{(2n-3)B}$ (39):

$$d_{(2n-3)} = \frac{-\text{real}(\underline{V}_{T(n-1)np} - \underline{Z}_{iL(2n-3)} \underline{I}_{T(n-1)np}) \text{imag}(\underline{I}_F) + \text{imag}(\underline{V}_{T(n-1)np} - \underline{Z}_{iL(2n-3)} \underline{I}_{T(n-1)np}) \text{real}(\underline{I}_F)}{\text{real}(\underline{Z}_{iL(2n-3)} \underline{I}_{T(n-1)np}) \text{imag}(\underline{I}_F) - \text{imag}(\underline{Z}_{iL(2n-3)} \underline{I}_{T(n-1)np}) \text{real}(\underline{I}_F)} \quad (38),$$

40

$$R_{(2n-3)F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{T(n-1)np}) - (1-d_{(2n-3)}) \cdot \text{real}(Z_{1L(2n-3)} I_{T(n-1)np})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{T(n-1)np}) - (1-d_{(2n-3)}) \cdot \text{imag}(Z_{1L(2n-3)} I_{T(n-1)np})}{\text{imag}(I_F)} \right] \quad (39),$$

donde:

- 5 $Z_{1L(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia positiva,
 $Z_{0L(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia cero.

10 **3.1.c'**. Las tensiones para componentes simétricos $V_{Tk1}^{transf.}$, $V_{Tk2}^{transf.}$, $V_{Tk0}^{transf.}$ en el k^a punto de derivación Tk se calculan a partir de la fórmula (35), suponiendo como k el número de la estación considerada igual al número del punto de derivación Tk desde el que la línea en la que se considera el fallo va a la estación k (acciones realizadas en operaciones 630c).

15 **3.2.c'**. Los valores de la corriente $I_{Tkk1}^{transf.}$, $I_{Tkk2}^{transf.}$, $I_{Tkk0}^{transf.}$ que circula desde el punto de derivación Tk a la k^a estación en la sección de línea derivada L(2k-2) se calculan (acciones realizadas en operaciones 630c):

$$I_{Tkki}^{transf.} = \sum_{\substack{j=1,2,3 \\ j \neq k}}^n I_{ji} \quad (40)$$

La ecuación fallo de bucle tiene la siguiente forma:

$$V_{Tkkp} - (1-d_{(2k-2)})Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp} - R_{(2k-2)k} I_F = 0 \quad (41)$$

donde:

$$V_{Tkkp} = a_1 V_{Tkk1}^{transf.} + a_2 V_{Tkk2}^{transf.} + a_0 V_{Tkk0}^{transf.} \quad (41a)$$

$$I_{Tkkp} = a_1 I_{Tkk1}^{transf.} + a_2 I_{Tkk2}^{transf.} + a_0 \frac{Z_{0L(2k-2)}}{Z_{1L(2k-2)}} I_{Tkk0}^{transf.} \quad (41b)$$

30 Cuando la ecuación (40) ha sido escrita por separado para la parte real y la parte imaginaria y se han realizado otras transformaciones matemáticas, se obtienen las soluciones para la distancia buscada hasta el punto de fallo $d_{(2k-2)}$ (42) y la resistencia de fallo $R_{(2k-2)F}$ (43):

$$d_{(2k-2)} = \frac{-\text{real}(V_{Tkkp} - Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp}) \text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{Tkkp} - Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp}) \text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp}) \text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp}) \text{real}(I_F)} \quad (42),$$

$$R_{(2k-2)F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Tkkp}) - (1-d_{(2k-2)}) \cdot \text{real}(Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{Tkkp}) - (1-d_{(2k-2)}) \cdot \text{imag}(Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp})}{\text{imag}(I_F)} \right] \quad (43)$$

35 donde:

- $Z_{1L(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0L(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia cero.

5 **3.1.d'**. Las tensiones para componentes simétricos $V_{Tk1}^{transf.}$, $V_{Tk2}^{transf.}$, $V_{Tk0}^{transf.}$ en el k^a punto de derivación Tk se calculan a partir de la fórmula (35), (acciones realizadas en las operaciones 630d).

3.2.d'. Los valores de corriente $I_{TkT(k+1)1}^{transf.}$, $I_{TkT(k+1)2}^{transf.}$, $I_{TkT(k+1)0}^{transf.}$ que circula desde el punto de derivación Tk al punto de derivación T(k+1) en la sección de línea se calculan (acciones realizadas en las operaciones 630d):

$$I_{TkT(k+1)i}^{transf.} = \sum_{j=1}^{k-1} I_{ji}^{transf.}, \quad (44)$$

10 La ecuación fallo de bucle tiene la siguiente forma:

$$V_{TkT(k+1)p} - (1 - d_{(k+1)}) Z_{1L(2k-1)} I_{TkT(k+1)p} - R_{(2k-1)E} I_F = 0 \quad (45)$$

15 donde:

$$V_{TkT(k+1)p} = a_1 V_{Tk1}^{transf.} + a_2 V_{Tk2}^{transf.} + a_0 V_{Tk0}^{transf.} \quad (45a)$$

$$I_{TkT(k+1)p} = a_1 I_{TkT(k+1)1}^{transf.} + a_2 I_{TkT(k+1)2}^{transf.} + a_0 \frac{Z_{0L(k+1)}}{Z_{1L(k+1)}} I_{TkT(k+1)0}^{transf.} \quad (45b)$$

20 Cuando la ecuación (45) ha sido escrita por separado para la parte real y la parte imaginaria y se han realizado otras transformaciones matemáticas, se obtienen las ecuaciones para la distancia buscada hasta el punto de fallo $d_{(2k-1)}$ (46) y la resistencia de fallo $R_{(2k-1)F}$ (47):

$$d_{(2k-1)} = \frac{-\text{real}(V_{TkT(k+1)p} - Z_{1L(2k-1)} I_{TkT(k+1)p}) \text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{TkT(k+1)p} - Z_{1L(2k-1)} I_{TkT(k+1)p}) \text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L(2k-1)} I_{TkT(k+1)p}) \text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L(2k-1)} I_{TkT(k+1)p}) \text{real}(I_F)} \quad (46),$$

$$R_{(2k-1)F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{TkT(k+1)p}) - (1 - d_{(2k-1)}) \cdot \text{real}(Z_{1L(2k-1)} I_{TkT(k+1)p})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{TkT(k+1)p}) - (1 - d_{(2k-1)}) \cdot \text{imag}(Z_{1L(2k-1)} I_{TkT(k+1)p})}{\text{imag}(I_F)} \right] \quad (47),$$

30 donde:

$Z_{1L(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-1) para el componente de secuencia positiva,
 $Z_{0L(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-1) para el componente de secuencia cero.
 k - número del punto de derivación

35 **III'. Tercera etapa'**

En esta etapa, se realiza la selección de los resultados finales (acciones realizadas en las operaciones 640a, 640b, 640c, 640d).

40 **4'**. Se comprueba si los resultados del cálculo de la distancia d_1 , $d_{(2n-3)}$, $d_{(2k-2)}$, $d_{(2k-1)}$, hasta el punto de fallo están contenidos dentro del intervalo (0 ÷ 1) en unidades relativas:

$0 \leq d_1 \leq 1$, $0 \leq d_{(2n-3)} \leq 1$, $0 \leq d_{(2k-2)} \leq 1$, $0 \leq d_{(2k-1)} \leq 1$, y se comprueba si los resultados del cálculo de la

resistencia de fallo R_{1F} , $R_{(2n-3)F}$, $R_{(2k-2)F}$, $R_{(2k-1)F}$, para los puntos de fallo calculados d_1 , $d_{(2n-3)}$, $d_{(2k-2)}$, $d_{(2k-1)}$ son más grandes o iguales a cero. Los pares de resultados: resistencia-distancia, por ejemplo: d_1 , R_{1F} que no están contenidos dentro de los intervalos dados indican que se calcularon sobre una falsa suposición previa acerca del lugar de ocurrencia del fallo en la sección de línea dada. Estos resultados deben ser desechados. Los otros resultados se someten a un tratamiento adicional, excepto en el caso en el que sólo un par esté dentro del intervalo dado. Estos resultados son finales, es decir, indican la localización del fallo y la resistencia de fallo en el punto del fallo (operación 650).

5' Si el análisis de los criterios realizados como en las acciones 4' no proporciona una conclusión explícita acerca de qué valores definen la posición y la resistencia del fallo, a continuación, en acciones posteriores, se calcula la impedancia de origen equivalente para el componente negativo para estos fallos: fase a tierra, fase a fase, doble fase a tierra o, como alternativa para el componente de secuencia positiva incremental. Para fallos trifásicos, la impedancia de los sistemas de código equivalentes se calcula para el componente de secuencia positiva incremental (acciones realizadas en las operaciones 660a, 660b, 660 c, 660d).

7'. La corriente total de fallo I_{F2} para el componente de secuencia negativa se calcula a partir de la siguiente fórmula (acciones realizadas en las operaciones 660a),

$$I_{F2} = \sum_{j=1}^n I_{j2} \quad (48)$$

8'. La impedancia de origen equivalente (Z_{2S1}) se calcula suponiendo que el fallo se encuentra en la sección de línea L1, (acciones realizadas en las operaciones 660a):

$$(Z_{2S1}) = -\frac{V_{12}}{I_{12}}, \quad (49)$$

9'. La impedancia de origen equivalente ($Z_{2S(N)}$) se calcula suponiendo que el fallo se encuentra en la sección línea final L(2n-3), (acciones realizadas en las operaciones 660b):

$$(Z_{2S(N)}) = -\frac{V_{n2}}{I_{n2}} \quad (50)$$

donde:

$$V_{n2} = V_{T(n-1)2}^{transf.} - (1-d_{(2n-3)}) \cdot Z_{2L(2n-3)} \cdot I_{T(n-1)n2}^{transf.} - d_{(2n-3)} \cdot Z_{2L(2n-3)} \cdot (I_{T(n-1)n2}^{transf.} - I_{F2}) \quad (51)$$

10'. La impedancia de k^a fuente equivalente (Z_{2Sk}) se calcula suponiendo que el fallo se encuentra en la sección de línea derivada L(2k-2), (acciones realizadas en las operaciones 660c):

$$(Z_{2Sk}) = -\frac{V_{k2}}{I_{k2}} \quad (52)$$

donde:

$$V_{k2} = V_{Tk2}^{transf.} - (1-d_{(2k-2)}) \cdot Z_{2L(2k-2)} \cdot I_{Tk2}^{transf.} - d_{(2k-2)} \cdot Z_{2L(2k-2)} \cdot (I_{Tk2}^{transf.} - I_{F2}) \quad (53)$$

11'. La impedancia de las fuentes equivalentes (Z_{2Sk}) y ($Z_{2S(k+1)}$) se calcula sobre la suposición de que el fallo se encuentra en la sección de línea entre dos puntos de derivación Tk - T(k +1), (acciones realizadas en las operaciones 660d):

$$(Z_{2Sk}) = -\frac{V_{k2}}{I_{k2}} \quad (54)$$

donde:

$$V_{k2} = V_{TK2}^{transf.} - d_{(2k-1)} \cdot Z_{2L(2k-1)} \cdot I_{TKT(k+1)2}^{transf.} - (1-d_{(2k-1)}) \cdot Z_{2L(2k-1)} \cdot (I_{TKT(k+1)2}^{transf.} - I_{F2}) + Z_{2Lk} I_{k2} \quad (55)$$

$$(Z_{2S(k+1)}) = -\frac{V_{(k+1)2}}{I_{(k+1)2}} \quad (56)$$

donde:

$$V_{(k+1)2} = V_{TK2}^{transf.} - d_{(2k-1)} \cdot Z_{2L(2k-1)} \cdot I_{TKT(k+1)2}^{transf.} - (1-d_{(2k-1)}) \cdot Z_{2L(2k-1)} \cdot (I_{TKT(k+1)2}^{transf.} - I_{F2}) + Z_{2L(2k)} I_{(k+1)2} \quad (57)$$

12'. Se comprueba (acciones realizadas en las operaciones 670a, 670b, 670c, 670d) si las impedancias de origen equivalente calculadas (Z_{2S1}), (Z_{2Sn}), (Z_{2SC})_{SUB_C}, (Z_{2SK}), ($Z_{2S(k+1)}$) están contenidas en el intervalo en el primer cuadrante del plano complejo Z , es decir, si la parte real y la parte imaginaria de la impedancia calculada es mayor que cero. La impedancia de los sistemas de fuente equivalentes se determina para el componente negativo de la ocurrencia de los fallos: fase a tierra, fase a fase, doble fase a tierra o, como alternativa para el incremento del componente de secuencia positiva. Para fallos trifásicos se calcula la impedancia de los sistemas de fuente equivalentes para el incremento del componente de secuencia positiva. Los resultados que no estén incluidos dentro del primer cuadrante sugieren que se calcularon sobre un falso supuesto previo acerca de la localización del fallo en la sección de línea dada y el resultado del cálculo de la distancia hasta el punto del fallo hecho en esa suposición se rechaza. Los resultados restantes se someten a un tratamiento adicional, excepto el caso en el que sólo una impedancia calculada en la suposición de que el fallo se produjo en la sección de línea dada esté contenido en el primer cuadrante. El resultado del cálculo de la distancia hasta el punto del fallo para que esa impedancia indica un suposición previa correcta. Este resultado se considera final (acciones realizadas en la operación 680).

13'. Si el análisis de criterios realizado como en la acción 12' no proporciona una conclusión explícita sobre qué valores definen la localización del fallo, a continuación, en las acciones posteriores (acciones realizadas en las operaciones 690a, 690b, 690c, 690d), las impedancias de fuente equivalentes calculadas se transforman en una forma modular, con lo cual el resultado correcto se selecciona sobre la base del módulo de impedancia de origen equivalente.

14'. Operación 700. Si el valor calculado de la impedancia del sistema de módulo de fuente equivalente, suponiendo la ocurrencia del fallo en la sección de línea dada, no se corresponde con el valor real del módulo de impedancia del sistema de origen, esto significa que los datos preliminares sobre la localización del fallo en el sección dada se han asumido falsamente y el resultado del cálculo de la distancia hasta el punto del fallo sobre la base de esta hipótesis se rechaza. Si el valor calculado del módulo de impedancia del sistema de origen equivalente, suponiendo la ocurrencia del falla en la sección de línea dada, se corresponde con el valor real del módulo de impedancia del sistema de origen, entonces el resultado del cálculo de la distancia al fallo confirma que la suposición previa es correcta y este resultado se considerará definitivo.

La red de acciones que se muestran en la figura 19 incluyen las siguientes acciones para la implementación de la invención:

- 45 - medición de corrientes y tensiones de acuerdo con el punto 1' del ejemplo de realización de la invención,
- determinación de los componentes simétricos de las corrientes y las tensiones medidas y el cálculo de la corriente total de fallo medida de acuerdo con el punto 2' del ejemplo de realización de la invención,
- 50 - cálculo de las distancias hipotéticas consecutivas a los puntos de fallo y la resistencia de fallo suponiendo que el fallo se encuentra en la primera sección de línea L1, la sección terminal de la línea L(2n-3), las secciones de línea derivadas (2k-2) y las secciones entre puntos de derivación consecutivos (2k-1), de acuerdo con los puntos: 3.1.a' - 3.2.a', 3.1.b' - 3.4.b', 3.1.c' - 3.3.c', 3.1.d' - 3.3.d' del ejemplo de realización de la invención,
- 55 - comprobar si las distancias hipotéticas particulares están contenidas en el intervalo de 0 a 1 en unidades

relativas y rechazar esas distancias hipotéticas cuyos valores son negativos o mayores que 1, según el punto 4 de la realización de ejemplo de la invención,

- 5 - comprobar si los valores de la resistencia de fallo son más grandes o iguales a cero y rechazar los valores menores que cero, según el punto 5' de la realización de ejemplo invención,
- calcular la impedancia de fuentes equivalentes de secciones individuales suponiendo que el fallo se encuentra en la sección dada, como para los puntos 8'-11' del ejemplo de realización de la invención,
- 10 - seleccionar el resultado correcto, de acuerdo con el punto 12' del ejemplo de realización de la invención rechazando esas distancias hipotéticas para el que las impedancias de las fuentes equivalentes calculadas no están dentro del primer cuadrante del complejo sistema de coordenadas,
- 15 - seleccionar el resultado final de acuerdo con el punto 14' de la realización de ejemplo de la invención, rechazando esas distancias hipotéticas para las que el valor calculado del módulo de impedancia de los sistemas de origen equivalentes no se corresponde con el valor real del módulo del sistema de origen equivalente.

20 El ejemplo descrito se refiere a un fallo de doble fase a tierra del tipo (a-b-g). Sin embargo, este método es análogo para otros tipos de fallos. Si se analizan otros tipos de fallos, los coeficientes correspondientes a_{F1} , a_{F2} , a_{F0} , a_1 , a_2 , a_0 cambian. Los valores de estos coeficientes se compilan en las tablas 5 y 6. El método para la localización de fallos en líneas de transmisión de energía eléctrica de múltiples terminales de acuerdo con la presente invención abarca también otros tipos de fallos, es decir (a-g, b-g, c-g, a-b, b-c, c-a, b-c-g, c-a-g, a-b-c, a-b-c-g).

25 El método de la invención no se limita a un modelo de línea presentado en el ejemplo del análisis, pero se puede aplicar a otro modelo, que no se muestra, en la figura, por ejemplo, un modelo de línea larga. En tal caso, se modificarán las ecuaciones (33 a 57).

30 El método de la invención utiliza mediciones sincrónicas de corrientes en todas las estaciones del sistema de transmisión o distribución, además utiliza la medición de tensión en la estación donde está instalado el localizador de fallos.

35 La selección del resultado válido se basa en la agregación de las tres cantidades de tipo criterio calculadas: distancia al punto del fallo, resistencia del fallo en el punto del fallo y la impedancia de los sistemas de origen equivalentes para esas estaciones en las que no se hace la medición de tensión. Este tercer criterio es uno de dos etapas, es decir, primero se comprueba si las impedancias de determinados sistemas de origen son equivalentes en el primer cuadrante del plano complejo \underline{Z} y a continuación, se determinan sus módulos. Este primer elemento del tercer criterio es innovador y no se ha conocido hasta ahora. Su ventaja es que no se requiere el conocimiento de la impedancia del sistema de origen equivalente para su implementación. Por lo tanto, el conocimiento inexacto de estas impedancias, que es normal en la práctica, no tiene ninguna consecuencia.

40

REIVINDICACIONES

1. Un método para la localización de fallos en líneas de energía eléctrica, donde se utiliza una división en secciones de la línea del sistema de transmisión o de distribución, **caracterizado por que:**

- 5 - la corriente para la condición de fallo y la condición previa al fallo se mide en todas las estaciones terminales del sistema,
- la tensión de fase de línea para las condiciones de fallo y previa al fallo se mide en una estación terminal del sistema,
- 10 - se calculan los componentes simétricos de las señales de tensión y de corriente medidas y la corriente total de fallo en el punto del fallo,
- se asume una localización hipotética del fallo en una de las secciones de línea,
- se asume el primer punto de fallo hipotético situado en la sección de línea entre el principio de la línea y el primer punto de derivación, el segundo punto de fallo hipotético situado en la sección de línea entre el extremo de la línea y el último punto de derivación, y un punto de fallo hipotético consecutivo situado en cada rama de la línea conectada a la línea, mientras que para las líneas de varios terminales, que tienen más de tres terminales, se asume adicionalmente el punto de fallo hipotético consecutivo situado en cada sección de línea entre dos puntos de derivación consecutivos,
- 15 - se calculan la distancia desde el principio de la línea hasta el punto del fallo en la sección entre el principio de la línea y el primer punto de derivación, la distancia desde el extremo de la línea hasta el punto del fallo en la sección entre el extremo de la línea y el último punto de derivación, y la distancia desde el extremo de la línea derivada al punto del fallo situado en cada una de las ramas, mientras que para una línea de múltiples terminales se calcula la distancia desde el punto de derivación hasta el punto del fallo situado en cada una de las secciones de línea entre dos puntos de derivación y luego para todos los puntos de fallos hipotéticos en cada resistencia de fallo de sección,
- 20 - la localización del punto de fallo real se selecciona primero mediante la comparación de los valores numéricos relativos a las distancias previamente determinadas y se rechazan los resultados cuyos valores numéricos son negativos o mayores de 1 en unidades relativas, y luego, mediante el análisis de los valores de las resistencias de fallo calculados para los puntos de fallo y el rechazo de los resultados de los cálculos para los que el valor de la resistencia de fallo es negativo, y si se encuentra que un solo valor numérico relativo a la distancia está contenido en el intervalo numérico entre cero y uno en unidades relativas y el valor de la resistencia de fallo calculado para esta distancia hasta el punto de fallo es positivo o igual a cero, entonces, estos resultados son finales e indican la distancia real al punto de fallo y el valor de la resistencia de fallo en el punto de fallo,
- 25 - si, después de la selección del punto de fallo real resulta que al menos dos valores numéricos relativos a las distancias calculadas anteriormente están contenidos dentro del intervalo numérico de cero a uno en unidades relativas y los valores de las resistencias de fallo calculados para estos puntos de fallo son positivos o iguales a cero, entonces se determinan los módulos de impedancia o impedancias de sistemas de código equivalentes para el componente de secuencia negativa para fallos de fase a tierra, fallos de fase a fase y fallos de doble fase a tierra o para el componente de secuencia positiva incremental para fallos trifásicos, suponiendo que el fallo se produjo en unas secciones definidas, mientras que para líneas de múltiples terminales durante la determinación de impedancia se verifica, además, si los valores calculados de la impedancia de sistemas de origen equivalentes están contenidos en el primer cuadrante del sistema de coordenadas cartesiano para el complejo simple y estas distancias a los puntos de fallo son rechazadas para los que los valores de impedancia no están contenidos en este cuadrante del sistema, y si resulta que sólo un valor de la impedancia del sistema de origen equivalente relativo a la distancia está contenido en el primer cuadrante del sistema, entonces el resultado del cálculo de la distancia hasta el punto de fallo, para esta impedancia, se considera que es final, mientras que si resulta que al menos dos valores de la impedancia de sistemas de origen equivalentes relativos a la distancia están contenidos en el primer cuadrante del sistema, entonces, los módulos de estas impedancias se utilizan en la siguiente etapa,
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50

la distancia para la que el valor del módulo de la impedancia de origen equivalente está más cercano a los valores realistas que determinan realmente la carga o el suministro del sistema se considera que es el resultado final.

2. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** el cálculo de la corriente total de fallo se hace teniendo en cuenta los coeficientes de reparto que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través la resistencia de fallo, utilizándose para esa operación un conjunto determinado especialmente de estos coeficientes.

3. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para fallos de doble fase a tierra, el componente positivo se elimina en la estimación de la corriente total de fallo, y se asumen para los componentes negativo y cero los siguientes valores de los coeficientes de reparto que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando la caída de tensión a través de la resistencia de fallo que se estima:

$$a_{F1} = 0$$

$$a_{F2} = a_{F2}^{init} - \frac{a_{F1}^{init} b_{F2}}{b_{F1}}$$

$$a_{F0} = \frac{a_{F1}^{init}}{b_{F1}}$$

5

donde:

10 a_{F1}^{init} , a_{F2}^{init} , a_{F0}^{init} indican los coeficientes de reparto iniciales que determinan la relación entre los componentes simétricos de la corriente total de fallo cuando se estima la caída de tensión a través de la resistencia de fallo, b_{F1} , b_{F2} - indican coeficientes de reparto de relaciones, determinados a partir de la relación entre el componente cero y los otros componentes de la corriente de fallo total que circula a través de la resistencia de fallo.

15 **4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de tres terminales, las distancias desde el principio de la línea del punto de fallo d_A , desde el extremo de la línea al punto de fallo d_B , desde el extremo de la línea derivada hasta el punto de fallo d_C se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$d_A = \frac{\text{real}(V_{Ap})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(V_{Ap})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1LA} I_{Ap})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1LA} I_{Ap})\text{real}(I_F)}$$

20

$$d_B = \frac{-\text{real}(V_{Tp} - Z_{1LB} I_{TBp})\text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{Tp} - Z_{1LB} I_{TBp})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1LB} I_{TBp})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1LB} I_{TBp})\text{real}(I_F)}$$

$$d_C = \frac{-\text{real}(V_{Tp} - Z_{1LC} I_{TCp})\text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{Tp} - Z_{1LC} I_{TCp})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1LC} I_{TCp})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1LC} I_{TCp})\text{real}(I_F)}$$

25 donde:

"real" indica la parte real de la cantidad dada,
 "imag" indica la parte imaginaria de la cantidad dada,
 30 V_{Ap} - indica la tensión de bucle de fallo determinada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LA,
 V_{Tp} - indica la tensión de bucle de fallo determinada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LB o LC,
 I_{Ap} - indica la corriente de bucle de fallo determinada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LA,
 I_{TBp} - indica la corriente de bucle de fallo determinada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LB,
 I_{TCp} - indica la corriente del bucle de fallo determinada suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LC,
 35 I_F - indica la corriente total de fallo,
 $Z_{1LA} = R_{1LA} + j\omega_1 L_{1LA}$ - indica la impedancia de la sección de línea LA para la secuencia positiva,
 $Z_{1LB} = R_{1LB} + j\omega_1 L_{1LB}$ - indica la impedancia de la sección de línea LB para la secuencia positiva,
 $Z_{1LC} = R_{1LC} + j\omega_1 L_{1LC}$ - indica la impedancia de la sección de línea LC para la secuencia positiva,
 R_{1LA} , R_{1LB} , R_{1LC} - resistencia para la secuencia positiva para las secciones de línea LA, LB, LC, respectivamente,
 40 L_{1LA} , L_{1LB} , L_{1LC} - inductancia para la secuencia positiva para las secciones de línea LA, LB, LC, respectivamente,
 ω_1 - pulsación de la frecuencia fundamental.

5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que para líneas de energía de tres terminales, las resistencias de fallo R_{FA} , R_{FB} , R_{FC} se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

45

$$R_{FA} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Ap}) - d_A \text{real}(Z_{1LA} I_{Ap})}{\text{real}(I_F)} + \frac{\text{imag}(V_{Ap}) - d_A \text{imag}(Z_{1LA} I_{Ap})}{\text{imag}(I_F)} \right],$$

$$R_{FB} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Tp}) - (1 - d_B) \cdot \text{real}(Z_{1LB} I_{TBp})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{Tp}) - (1 - d_B) \cdot \text{imag}(Z_{1LB} I_{TBp})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

$$R_{FC} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Tp}) - (1 - d_C) \cdot \text{real}(Z_{1LC} I_{TCp})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{Tp}) - (1 - d_C) \cdot \text{imag}(Z_{1LC} I_{TCp})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

5

donde:

"real" indica la parte real de la cantidad dada,

10 "imag" indica la parte imaginaria de la cantidad dada,

V_{Ap} - indica la tensión de bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LA,

V_{Tp} - indica la tensión de bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LB o LC,

I_{Ap} - indica la corriente de bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LA,

15 I_{TBp} - indica la corriente de bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección LB,

I_{TCp} - indica la corriente de bucle de fallo calculada suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LC,

I_F - indica la corriente total de fallo,

$Z_{1LA} = R_{1LA} + j\omega_1 L_{1LA}$ - indica la impedancia de la sección de línea LA para la secuencia positiva,

$Z_{1LB} = R_{1LB} + j\omega_1 L_{1LB}$ - indica la impedancia de la sección de línea LB para la secuencia positiva,

20 $Z_{1LC} = R_{1LC} + j\omega_1 L_{1LC}$ - indica la impedancia de la sección de línea LC para la secuencia positiva,

$R_{1LA}, R_{1LB}, R_{1LC}$ - resistencia para la secuencia positiva para las secciones de línea LA, LB, LC, respectivamente,

$L_{1LA}, L_{1LB}, L_{1LC}$ - inductancia para la secuencia positiva para las secciones de línea LA, LB, LC, respectivamente,

ω_1 - pulsación de la frecuencia fundamental,

d_A - indica la distancia desde el principio de la línea hasta el punto de fallo,

25 d_B - indica la distancia desde el extremo de la línea hasta el punto de fallo,

d_C - indica la distancia desde el extremo de la línea derivada hasta el punto de fallo.

6. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de tres terminales, las impedancias de origen equivalente para el componente de secuencia negativa ($(Z_{2SB})_{SUB_A}$) y para el componente de secuencia positiva incremental ($(Z_{\Delta 1SB})_{SUB_A}$) se calculan, suponiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LA, según esta ecuación:

30

$$(Z_{iSB})_{SUB_A} = \frac{G_{iA} I_{A2} - H_{iA} I_{FAi}}{Q_{BCi} (I_{FAi} - I_{Ai})},$$

donde:

35

el subíndice i adquiere valores $i = 2$ para la secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

G_{iA} - indica el primer coeficiente analítico para el componente de secuencia negativa,

40 determinado a partir del análisis de un diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 11 y/o para el componente de secuencia positiva incremental analíticamente determinado a partir del diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 12,

I_{Ai} - indica el componente de secuencia positiva incremental y/o negativa de corriente medida en el principio de la línea,

45 H_{iA} - indica el segundo coeficiente analítico para el componente de secuencia negativa, determinado a partir del análisis de un diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 11 y/o el componente de secuencia positiva incremental analíticamente determinado a partir del diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 12,

I_{FAi} - indica el componente de secuencia negativa de la corriente de fallo total, determinado a partir del análisis de un diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 11 y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente de fallo total, determinada a partir del análisis de un diagrama de circuito equivalente del sistema como se muestra en la figura 12,

50

Q_{BCi} - indica el cociente del componente de secuencia negativa de la corriente medida en el extremo de la línea y

la suma de los componentes de secuencia negativa de las señales de corriente medidas en el extremo de la línea y en el extremo de la línea derivada y/o el cociente del componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la línea y la suma de los componentes de secuencia positiva incremental de las señales de corriente medidas en el extremo de la línea y en el extremo de la línea derivada.

7. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de tres terminales, las impedancias de origen equivalente ($(Z_{2SC})_{SUB_A}$) para el componente negativo y ($(Z_{\Delta 1SC})_{SUB_A}$) para el componente de secuencia positiva incremental se determinan a partir de la siguiente ecuación, asumiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LA:

$$(Z_{iSC})_{SUB_A} = (Z_{iLB} + (Z_{iSB})_{SUB_A}) \frac{I_{Bi}}{I_{Ci}} - Z_{iLC}$$

donde:

el subíndice i toma valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

$(Z_{iSB})_{SUB_A}$ - indica la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental, calculada asumiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LA,

Z_{iLB} - indica la impedancia de la sección de línea LB para el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva, donde: $Z_{\Delta 1LB} = Z_{1LB}$,

Z_{1LB} - indica la impedancia de la sección de línea LB para el componente de secuencia positiva,

Z_{iLC} - indica la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia negativa y/o la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia positiva incremental, donde $Z_{2LC} = Z_{1LC}$ y $Z_{\Delta 1LC} = Z_{1LC}$,

Z_{1LC} - indica la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia positiva,

I_{Bi} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la línea,

I_{Ci} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente media en el extremo de la rama.

8. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para las líneas de energía de tres terminales, las impedancias de origen equivalente para el componente de secuencia negativa $(Z_{2SB})_{SUB_B}$ y para el componente de secuencia positiva incremental $(Z_{\Delta 1SB})_{SUB_B}$ se determinan a partir de la siguiente ecuación, asumiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LB:

$$(Z_{iSB})_{SUB_B} = \frac{(1 - d_B) Z_{iLB} I_{TBi}^{transf.} - d_B Z_{iLB} I_{Bi} - V_{Ti}^{transf.}}{I_{Bi}}$$

donde:

el subíndice i toma valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

d_B - indica la distancia desde el extremo de la línea al punto de fallo,

Z_{iLB} - indica la impedancia de la sección de línea LB para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva, donde $Z_{2LB} = Z_{1LB}$ y $Z_{\Delta 1LB} = Z_{1LB}$,

Z_{1LB} - indica la impedancia de la sección de línea LB para el componente de secuencia positiva,

$I_{TBi}^{transf.}$ - indica la corriente que circula desde el punto de derivación T a la sección de línea LB para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental,

I_{Bi} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la línea,

$V_{Ti}^{transf.}$ - indica la tensión en el punto de derivación T para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental.

9. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de tres terminales, las impedancias de origen equivalente para el componente de secuencia negativa $(Z_{2SC})_{SUB_B}$ y para el componente de secuencia positiva incremental $(Z_{\Delta 1SC})_{SUB_B}$ se calculan a partir de la siguiente ecuación, asumiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LB:

$$(Z_{iSC})_{SUB_B} = -\frac{V_{Ci}}{I_{Ci}}$$

donde:

- 5 el subíndice i toma valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,
 V_{Ci} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la tensión en el extremo de la línea derivada,
 I_{Ci} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la rama.

- 10 **10. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de tres terminales, las impedancias de origen equivalente para el componente de secuencia negativa $(Z_{2SC})_{SUB_C}$ y para el componente de secuencia positiva incremental $(Z_{\Delta 1SC})_{SUB_C}$ se calculan a partir de la siguiente ecuación, asumiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LC:

$$(Z_{iSC})_{SUB_C} = \frac{(1-d_C)Z_{iLC}I_{TCi}^{transf.} - d_C Z_{iLC} I_{Ci} - V_{Ti}^{transf.}}{I_{Ci}},$$

donde:

- 20 el subíndice i toma los valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,
 d_C - indica la distancia desde el extremo de la línea derivada al punto de fallo,
 Z_{iLC} - indica la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental, donde $Z_{2LC} Z_{1LC}$ y $Z_{\Delta 1LC} = Z_{iLC}$,
 Z_{1LC} - indica la impedancia de la sección de línea LC para el componente de secuencia positiva,
 $I_{TCi}^{transf.}$ - indica la corriente que circula al punto de derivación T desde la sección de línea LC para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental,
 I_{Ci} - indica el componente de secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la línea,
 $V_{Ti}^{transf.}$ - indica la tensión en el punto de derivación T para el componente de secuencia negativa y/o para el componente de secuencia positiva incremental.

- 35 **11. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de tres terminales, las impedancias de origen equivalente para el componente de secuencia negativa $(Z_{2SB})_{SUB_C}$ y para el componente de secuencia positiva incremental $(Z_{\Delta 1SB})_{SUB_C}$ se calculan a partir de la siguiente ecuación, asumiendo que el fallo se produjo en la sección de línea LC:

$$(Z_{iSB})_{SUB_C} = -\frac{V_{Bi}}{I_{Bi}}$$

donde:

- 45 el subíndice i toma valores $i = 2$ para el componente de secuencia negativa, $i = \Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,
 V_{Bi} - indica la secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la tensión en el extremo de la línea,
 I_{Bi} - indica la secuencia negativa y/o el componente de secuencia positiva incremental de la corriente medida en el extremo de la línea.

- 50 **12. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de múltiples terminales, las distancias desde el inicio de la línea al punto del fallo (d_i), desde el extremo de la línea al punto del fallo ($d_{(2n-3)}$), desde el extremo de la línea al punto del fallo ($d_{(2k-2)}$) y desde el punto de derivación al punto del fallo en la sección de línea entre dos puntos de derivación ($d_{(2k-1)}$) se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$d_1 = \frac{\text{real}(V_{1p})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(V_{1p})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L1}I_{1p})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L1}I_{1p})\text{real}(I_F)}$$

$$d_{(2n-3)} = \frac{-\text{real}(V_{T(n-1)np} - Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})\text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{T(n-1)np} - Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})\text{real}(I_F)}$$

$$d_{(2k-2)} = \frac{-\text{real}(V_{Tkkp} - Z_{1L(2k-2)}I_{Tkkp})\text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{Tkkp} - Z_{1L(2k-2)}I_{Tkkp})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L(2k-2)}I_{Tkkp})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L(2k-2)}I_{Tkkp})\text{real}(I_F)}$$

$$d_{(2k-1)} = \frac{-\text{real}(V_{Tkt(k+1)p} - Z_{1L(2k-1)}I_{Tkt(k+1)p})\text{imag}(I_F) + \text{imag}(V_{Tkt(k+1)p} - Z_{1L(2k-1)}I_{Tkt(k+1)p})\text{real}(I_F)}{\text{real}(Z_{1L(2k-1)}I_{Tkt(k+1)p})\text{imag}(I_F) - \text{imag}(Z_{1L(2k-1)}I_{Tkt(k+1)p})\text{real}(I_F)}$$

donde:

V_{1p} - tensión de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la primera sección de la sección de línea L1,

I_{1p} - corriente de bucle de fallo bajo la asunción de que el fallo se produjo en la primera sección de la sección de línea L1,

$V_{T(n-1)np}$ - tensión de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la sección de línea L(2n-3),

$I_{T(n-1)np}$ - corriente de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la sección de línea L(2n-3),

V_{Tkkp} - tensión de bucle de fallo calculado bajo la asunción de que el fallo se produjo en la kª línea derivada,

I_{Tkkp} - corriente de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la kª línea derivada,

$V_{Tkt(k+1)p}$ - tensión de bucle calculada bajo la asunción que el fallo se produjo en la sección de línea entre dos puntos de derivación,

$I_{Tkt(k+1)p}$ - corriente de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la sección de línea entre dos puntos de derivación,

I_F - corriente de fallo total,

Z_{1L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia positiva,

Z_{0L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia cero,

$Z_{1L(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0L(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia cero,

$Z_{1L(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0L(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia cero,

$Z_{1L(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-1) para el componente de secuencia positiva,

$Z_{0L(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-1) para el componente de secuencia cero,

k - número del punto de derivación,

n - número del terminal de línea.

13. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía eléctrica de múltiples terminales, las resistencias de fallo (R_{1F}), ($R_{(2n-3)F}$), ($R_{(2k-2)F}$), ($R_{(2k-1)F}$) se determinan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$R_{1F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{1p}) - d_1 \text{real}(Z_{1L1}I_{1p})}{\text{real}(I_F)} + \frac{\text{imag}(V_{1p}) - d_1 \text{imag}(Z_{1L1}I_{1p})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

$$R_{(2n-3)F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{T(n-1)np}) - (1 - d_{(2n-3)}) \cdot \text{real}(Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})}{\text{real}(I_F)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{T(n-1)np}) - (1 - d_{(2n-3)}) \cdot \text{imag}(Z_{1L(2n-3)}I_{T(n-1)np})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

$$R_{(2k-2)F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{Tkkp}) - (1-d_{(2k-2)}) \cdot \text{real}(Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp})}{\text{real}(I_F)} \right] +$$

$$+ \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{Tkkp}) - (1-d_{(2k-2)}) \cdot \text{imag}(Z_{1L(2k-2)} I_{Tkkp})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

$$R_{(2k-1)F} = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{real}(V_{T(k+1)p}) - (1-d_{(2k-1)}) \cdot \text{real}(Z_{1L(2k-1)} I_{T(k+1)p})}{\text{real}(I_F)} \right] +$$

$$+ \frac{1}{2} \left[\frac{\text{imag}(V_{T(k+1)p}) - (1-d_{(2k-1)}) \cdot \text{imag}(Z_{1L(2k-1)} I_{T(k+1)p})}{\text{imag}(I_F)} \right]$$

5 donde:

- d_1 - distancia al fallo desde el inicio de la línea al punto del fallo,
 $d_{(2n-3)}$ - distancia al fallo desde el extremo de la línea del punto del fallo,
 $d_{(2k-2)}$ - distancia al fallo desde el extremo de la línea derivada al punto del fallo $d_{(2k-1)}$ - distancia al fallo en la
10 sección de línea entre dos puntos de derivación,
 V_{1p} - tensión de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la primera sección de la
sección de línea L1,
 I_{1p} - corriente de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la primera sección de la
sección de línea L1,
15 $V_{T(n-1)np}$ - tensión de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la sección de línea
L(2n-3),
 $I_{T(n-1)np}$ - corriente de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la sección de línea
L(2n-3),
20 V_{Tkkp} - tensión de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la kª línea derivada,
 I_{Tkkp} - corriente de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la kª línea derivada,
 $V_{T(k+1)p}$ - tensión de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la sección de línea
entre dos puntos de derivación,
 $I_{T(k+1)p}$ - corriente de bucle de fallo calculada bajo la asunción de que el fallo se produjo en la sección de línea
entre dos puntos de derivación,
25 I_F - corriente de fallo total,
 Z_{1L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia positiva,
 Z_{0L1} - impedancia de la sección de línea L1 para el componente de secuencia cero,
 $Z_{1L(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia positiva,
 $Z_{0L(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia cero,
30 $Z_{1L(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia positiva,
 $Z_{0L(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia cero,
 $Z_{1L(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-1) para el componente de secuencia positiva,
 $Z_{0L(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-1) para el componente de secuencia cero,
35 k - número del punto de derivación
n - número del terminal de línea.

14. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de múltiples
terminales, la impedancia de origen equivalente para el componente de secuencia negativa (Z_{2S1}) o para el
componente de secuencia positiva incremental ($Z_{\Delta 1S1}$) se calcula a partir de la siguiente ecuación, suponiendo que el
40 fallo está situado en la sección de línea entre el comienzo de la línea y el primer punto de derivación:

$$(Z_{iS1}) = \frac{-V_{1i}}{I_{1i}}$$

45 donde

- $i = 2$ para la secuencia negativa, $\Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,
 V_{1i} - tensión medida en la estación 1 (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el
segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental -
índice $\Delta 1$,
50 I_{1i} - corriente medida en la estación 1 (el primer subíndice) para componentes simétricos individuales, (el segundo
subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$.

15. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de múltiples terminales, las impedancias de origen equivalente (($Z_{2S(n)}$)) para el componente negativo y (($Z_{\Delta 1S(n)}$)) para el componente de secuencia positiva incremental se determinan a partir de la siguiente ecuación, suponiendo que el fallo se encuentra en la sección de línea entre el extremo de la línea y el punto de derivación final:

$$(Z_{iSn}) = - \frac{V_{T(n-1)i}^{transf.} - (1-d_{(2n-3)}) \cdot Z_{iL(2n-3)} \cdot I_{T(n-1)ni}^{transf.} - d_{(2n-3)} \cdot Z_{iL(2n-3)} \cdot (I_{T(n-1)ni}^{transf.} - I_{Fi})}{I_{ni}}$$

donde:

i = 2 para el componente de secuencia negativa, $\Delta 1$ para el componente de secuencia positiva incremental,

$V_{T(n-1)i}^{transf.}$ - tensiones en el punto de derivación final T (n-1) para el componente de secuencia negativa i = 2, o el componente de secuencia positiva incremental i = $\Delta 1$,

$d_{(2n-3)}$ - distancia al fallo desde el extremo de la línea hasta el punto del fallo,

$Z_{iL(2n-3)}$ - impedancia de la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia negativa i = 2, o el componente de secuencia positiva incremental i = $\Delta 1$,

$I_{T(n-1)ni}^{transf.}$ - valores de la corriente que circula desde el punto de derivación T (n-1) hasta la estación n en la sección de línea L(2n-3) para el componente de secuencia negativa i = 2, o para el componente de secuencia positiva incremental i = $\Delta 1$

I_{Fi} - corriente total de fallo para el componente de secuencia negativa i = 2, o para el componente de secuencia positiva incremental i = $\Delta 1$,

I_{ni} - corriente medida en la última estación n (el primer subíndice) para componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$.

16. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de múltiples terminales, las impedancias de origen equivalente para el componente negativo ((Z_{2Sk})) y para la componente de secuencia positiva incremental (($Z_{\Delta 1Sk}$)) se determinan suponiendo que el fallo se encuentra en la rama de la línea:

$$(Z_{iSk}) = - \frac{V_{Tki}^{transf.} - (1-d_{(2k-2)}) \cdot Z_{iL(2k-2)} \cdot I_{Tkki}^{transf.} - d_{(2k-2)} \cdot Z_{iL(2k-2)} \cdot (I_{Tkki}^{transf.} - I_{F2})}{I_{ki}}$$

donde:

$V_{Tki}^{transf.}$ - tensiones en el k° punto de derivación para el componente de secuencia negativa i = 2, o componente de secuencia positiva incremental i = $\Delta 1$,

$d_{(2k-2)}$ - distancia al fallo desde el extremo de la línea derivada al punto de fallo Tk, $Z_{iL(2k-2)}$ - impedancia de la sección de línea L(2k-2) para el componente de secuencia negativa i = 2, o para el componente de secuencia positiva incremental i = $\Delta 1$,

$I_{Tkki}^{transf.}$ - valores de la corriente que circula desde el punto de derivación Tk a la k° estación en la sección de línea derivada L(2k-2) para el componente de secuencia negativa i = 2, o para el componente de secuencia positiva incremental i = $\Delta 1$

I_{Fi} - corriente total de fallo para el componente de secuencia negativa i = 2, o para el componente de secuencia positiva incremental i = $\Delta 1$,

I_{ki} - corriente medida en la estación k (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$.

17. **Un método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que** para líneas de energía de múltiples terminales, las impedancias de origen equivalente para el componente negativo ((Z_{2Sk})) y (($Z_{2S(k+1)}$)) así como para el componente de secuencia positiva incremental (($Z_{\Delta 1Sk}$)) y (($Z_{\Delta 1S(k+1)}$)) se determinan a partir de la siguiente ecuación, asumiendo que el fallo se encuentra en la sección de línea entre dos puntos de derivación consecutivos,:

$$(Z_{iSk}) = - \frac{V_{Tki}^{transf.} - d_{(2k-1)} \cdot Z_{iL(2k-1)} \cdot I_{TkT(k+1)i}^{transf.} - (1-d_{(2k-1)}) \cdot Z_{iL(2k-1)} \cdot (I_{TkT(k+1)i}^{transf.} - I_{Fi}) + Z_{iLk} \cdot I_{ki}}{I_{ki}}$$

$$(Z_{iS(k+1)}) = \frac{V_{Tki}^{transf.} - d_{(2k-1)} \cdot Z_{iL(2k-1)} \cdot I_{TkT(k+1)i}^{transf.} - (1 - d_{(2k-1)}) \cdot Z_{iL(2k-1)} \cdot (I_{TkT(k+1)i}^{transf.} - I_{Fi}) + Z_{iL(2k)} I_{(k+1)i}}{I_{(k+1)i}}$$

donde:

- 5 $V_{Tki}^{transf.}$ - tensiones en el k^o punto de derivación para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o para el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,
 $d_{(2k-1)}$ - distancia al fallo en la sección de línea entre dos puntos de derivación
 $Z_{iL(2k-1)}$ - impedancia de la sección de línea $L(2k-1)$ para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o para el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,
- 10 $I_{TkT(k+1)i}^{transf.}$ - corriente que circula desde el punto de derivación Tk al punto de derivación $T(k+1)$ en la sección de línea para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o para el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$
 I_{Fi} - corriente total de fallo para el componente de secuencia negativa $i = 2$, o para el componente de secuencia positiva incremental $i = \Delta 1$,
- 15 I_{ki} - corriente medida en la estación k (el primer subíndice) para los componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$,
 $I_{(k+1)i}$ - corriente medida en la estación $k + 1$ (el primer subíndice) para componentes simétricos individuales, (el segundo subíndice), es decir, componente negativo - índice 2 y componente de secuencia positiva incremental - índice $\Delta 1$.
- 20

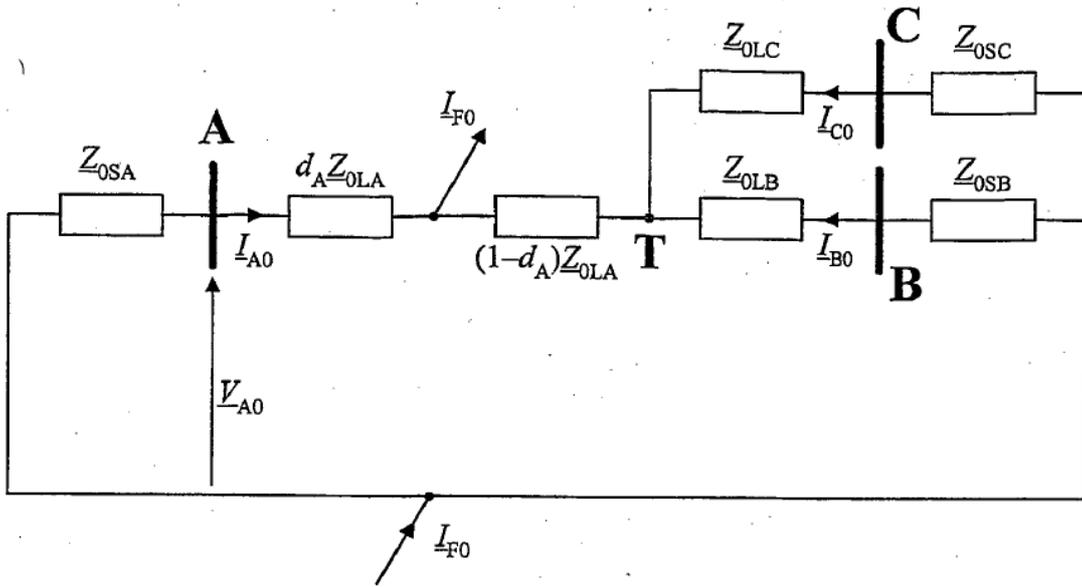


Fig. 4.

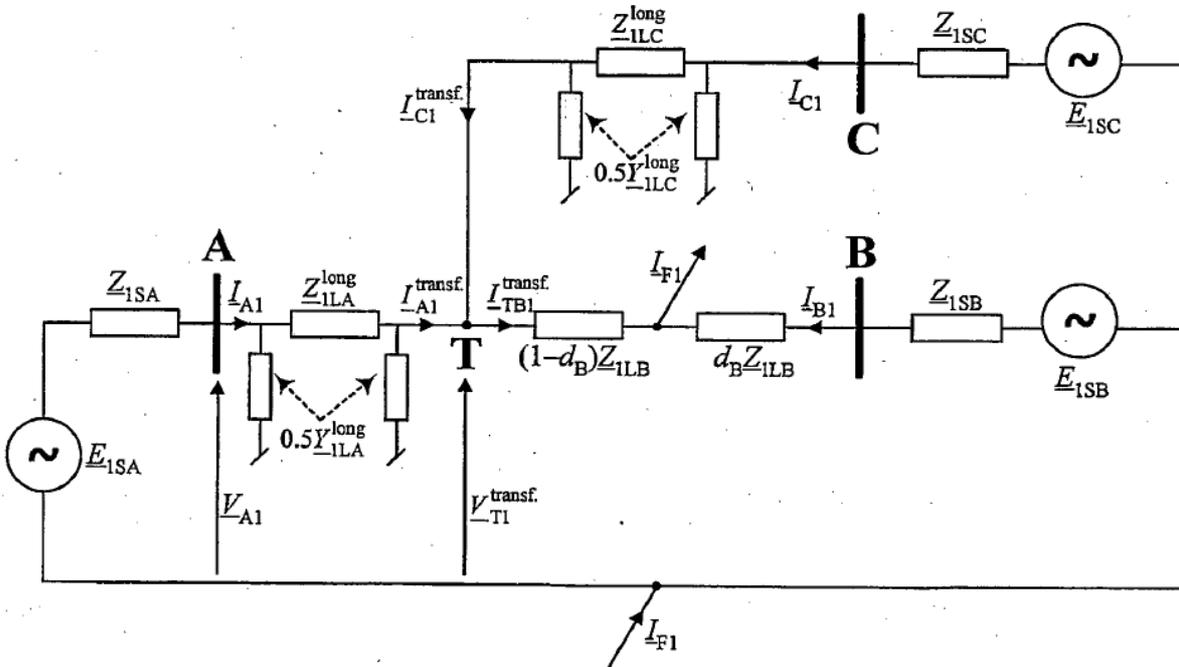


Fig. 5.

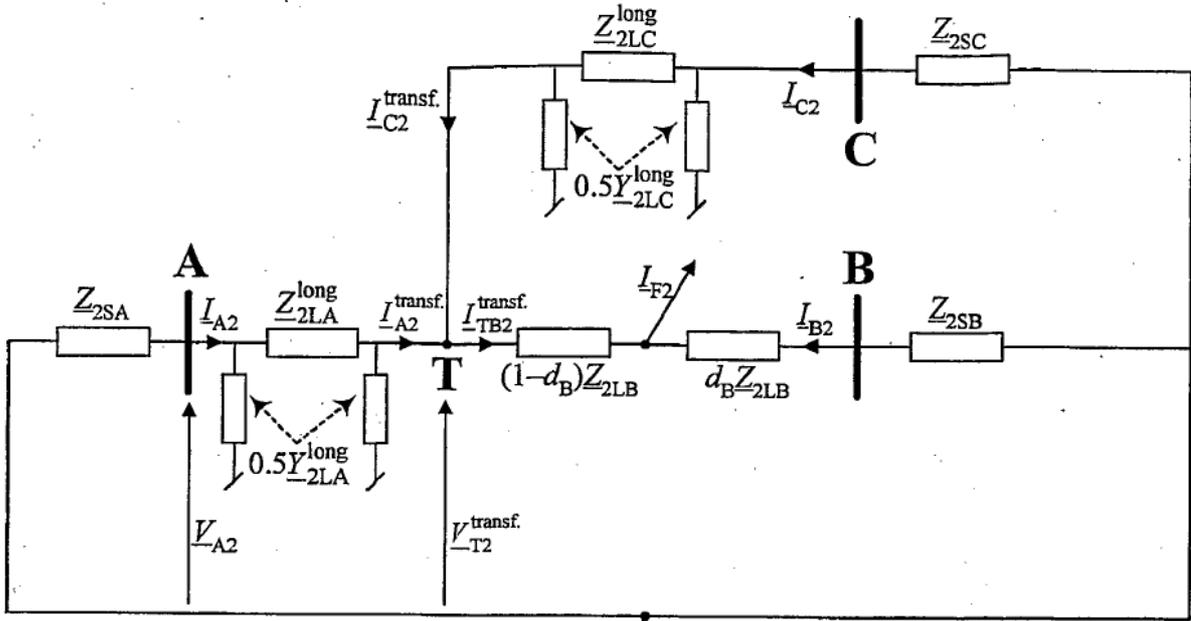


Fig.6.

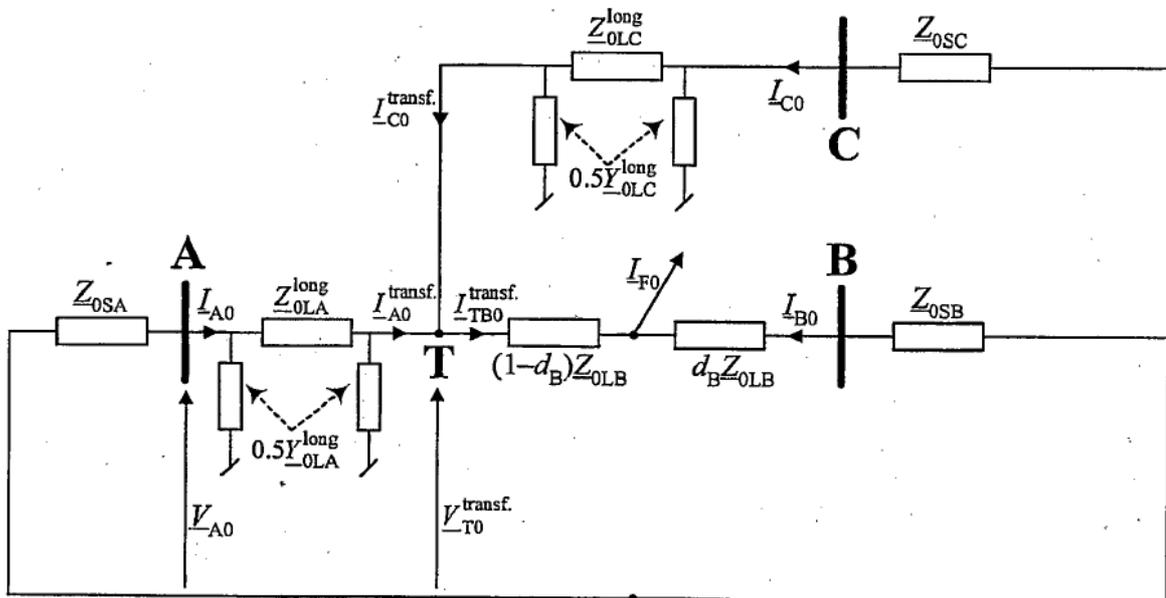


Fig.7.

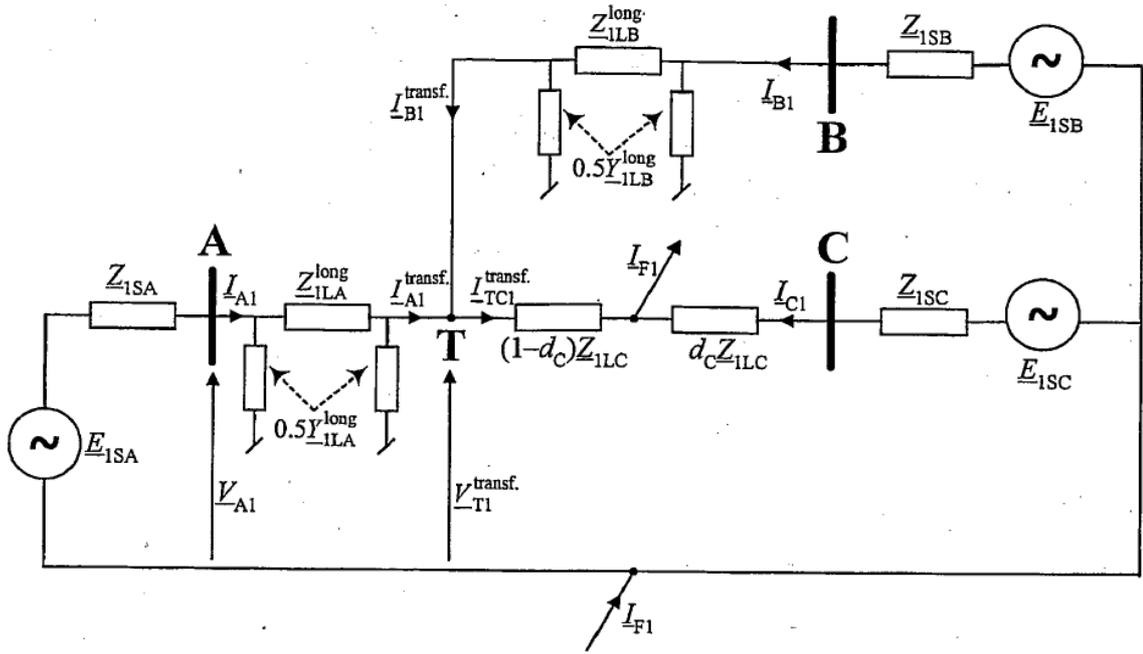


Fig. 8.

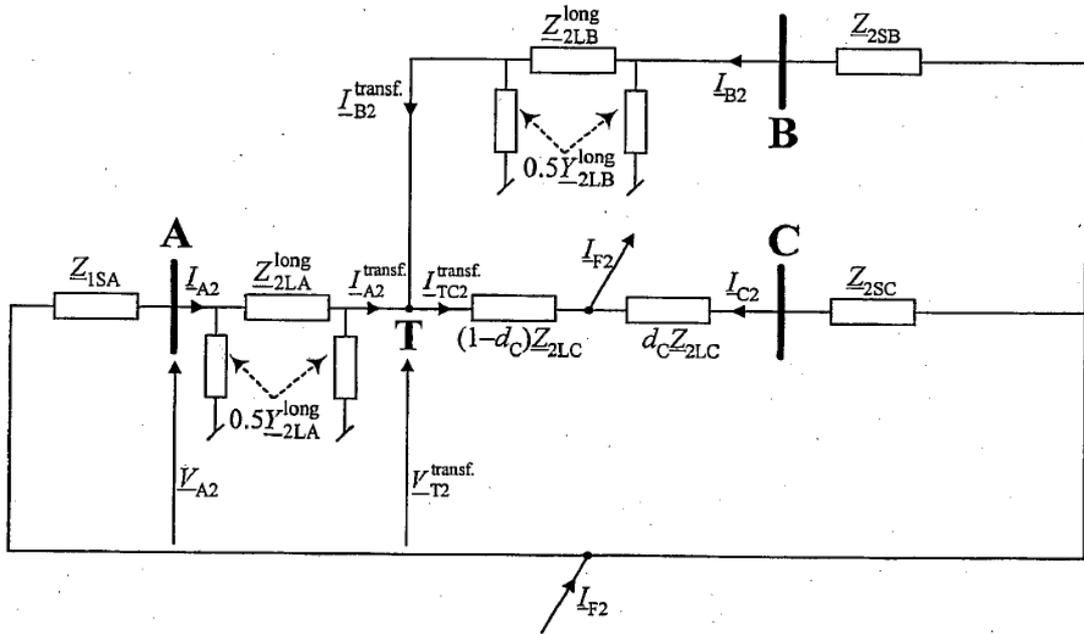


Fig. 9.

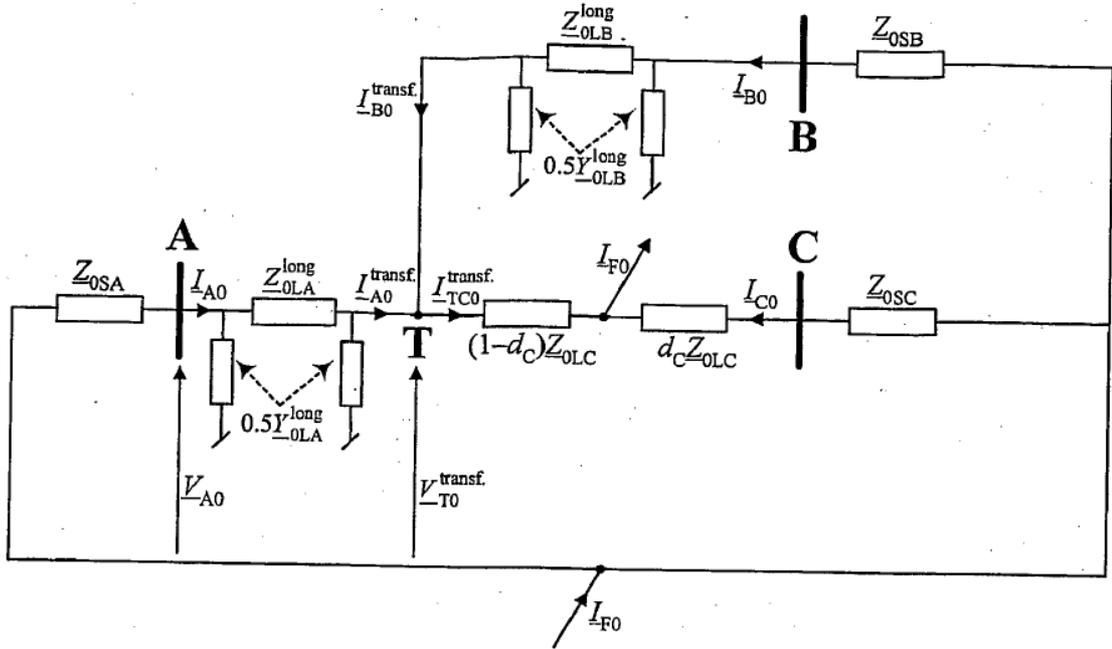


Fig.10.

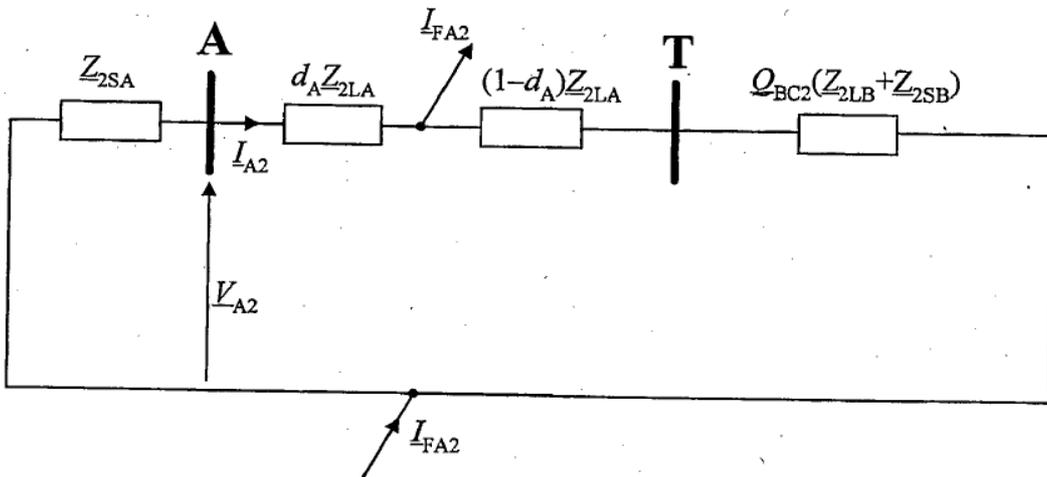


Fig.11.

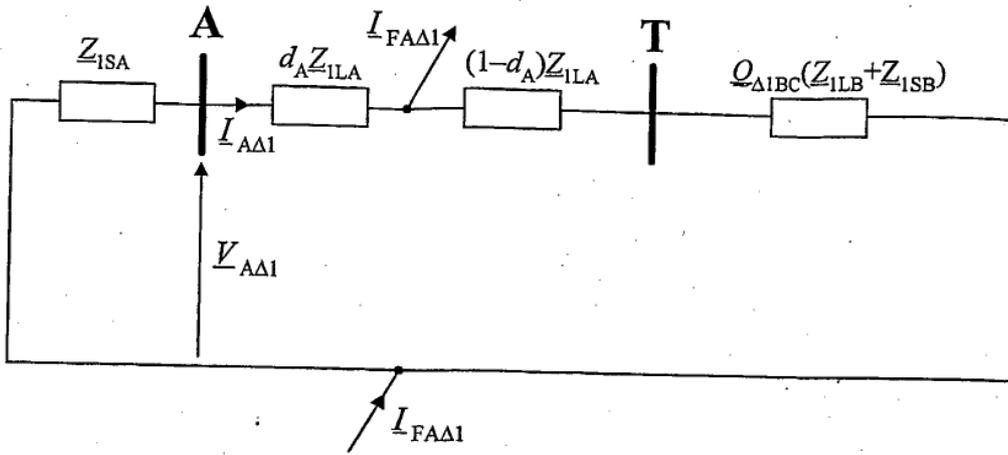


Fig. 12.

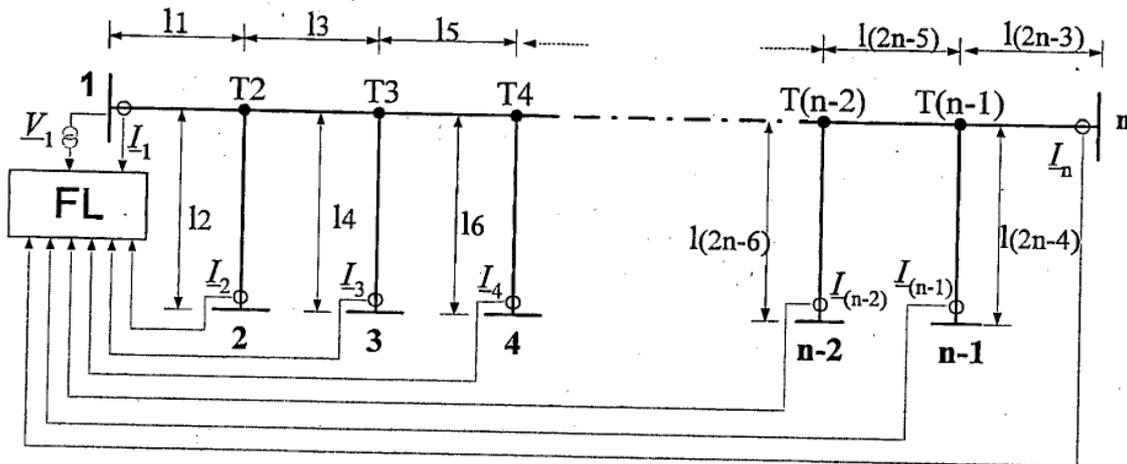


Fig. 14

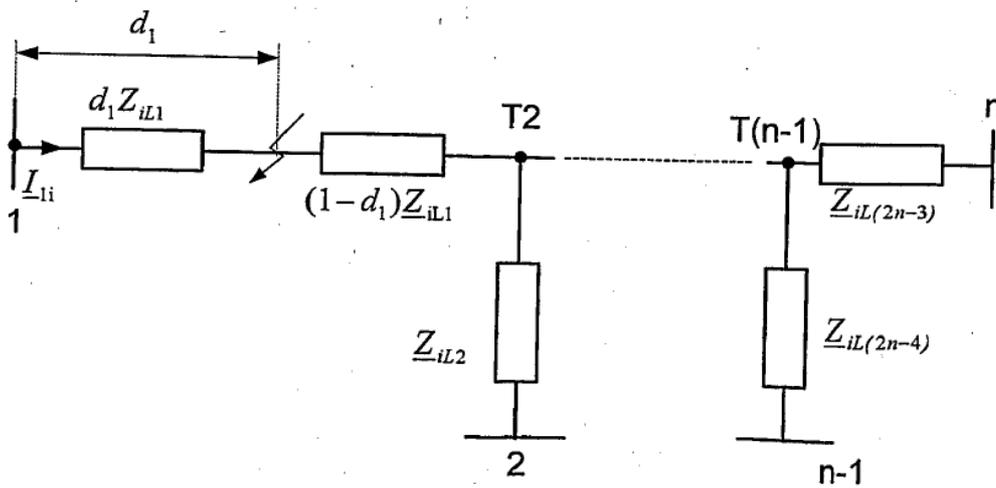


Fig. 15

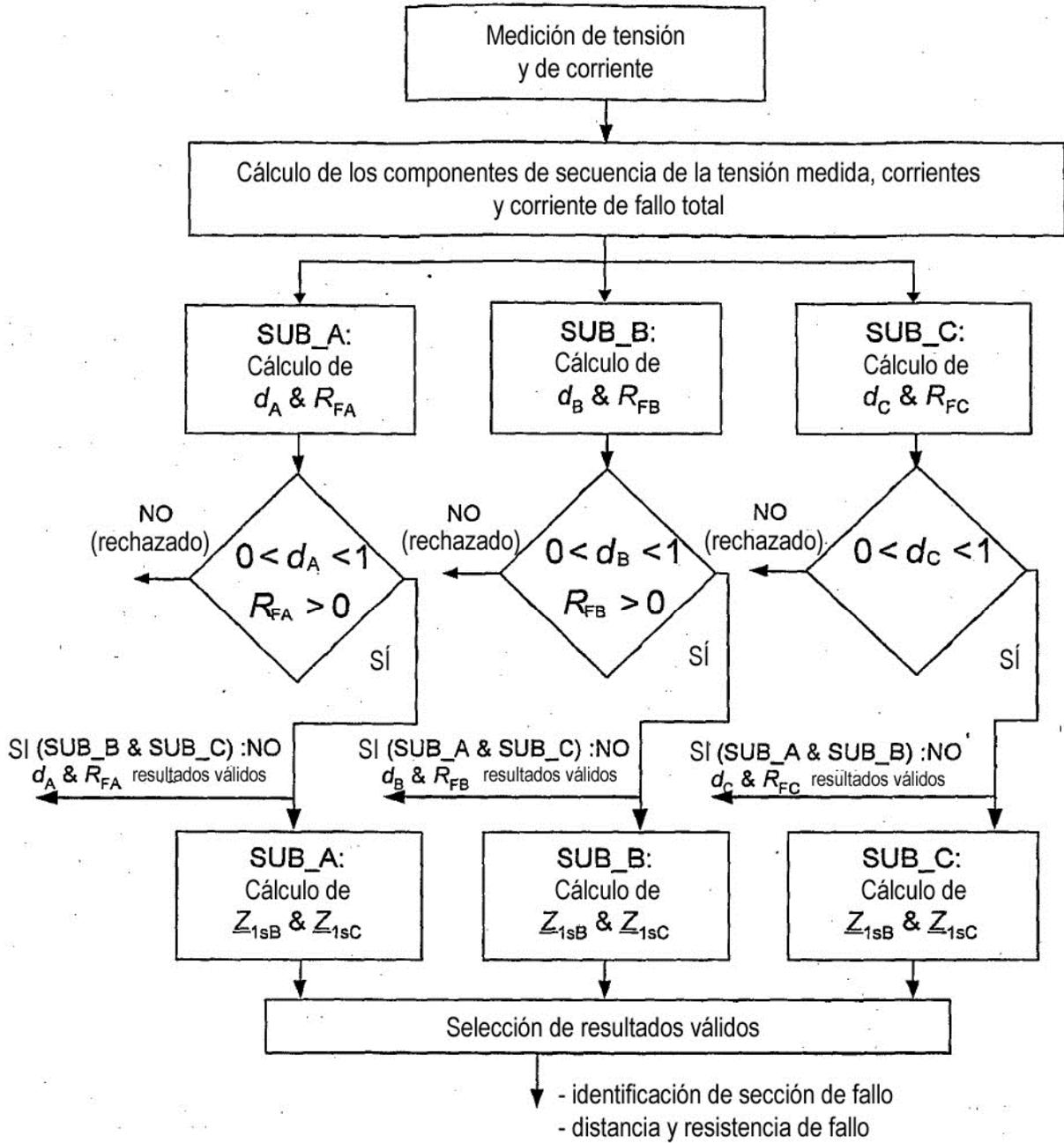


Fig.13

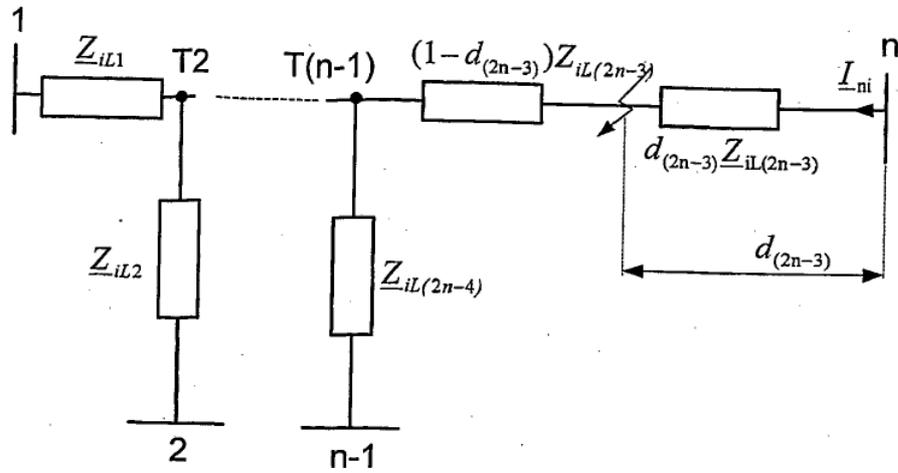


Fig. 16

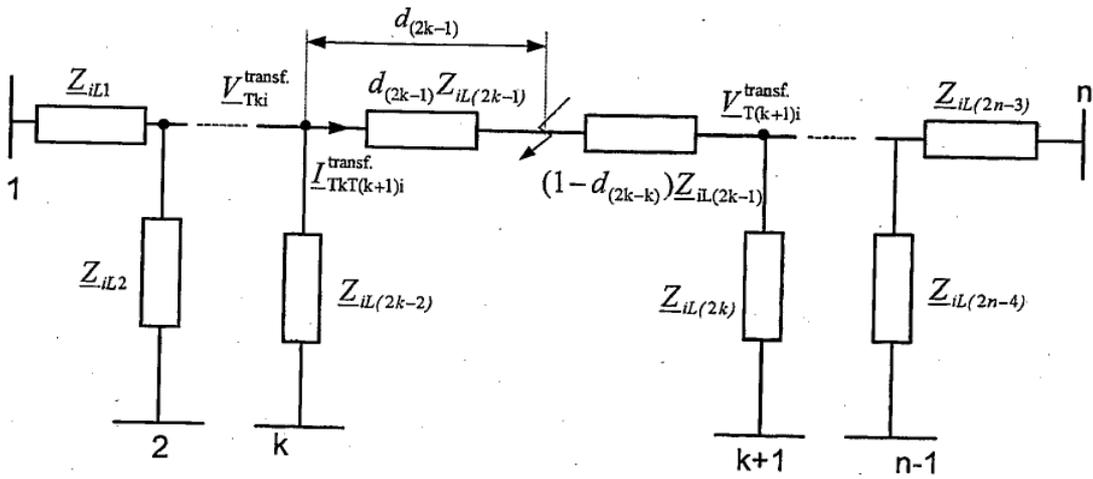


Fig. 17

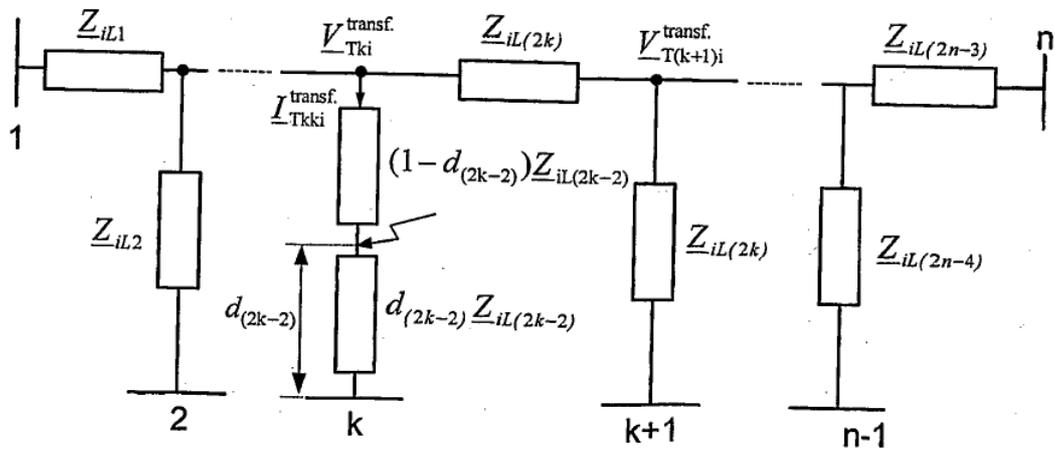


Fig. 18

Fig.19a
Fig.19b

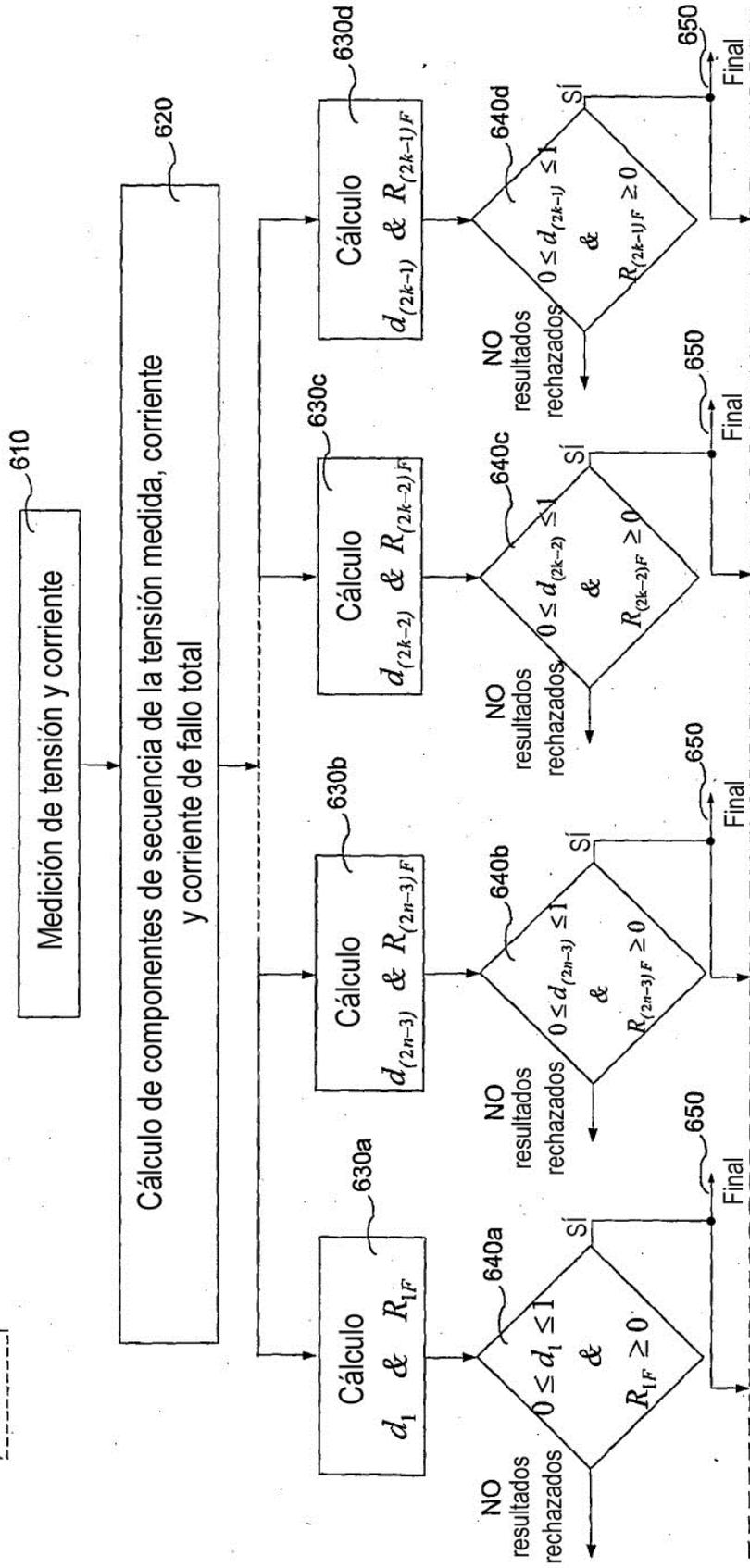


Fig.19a

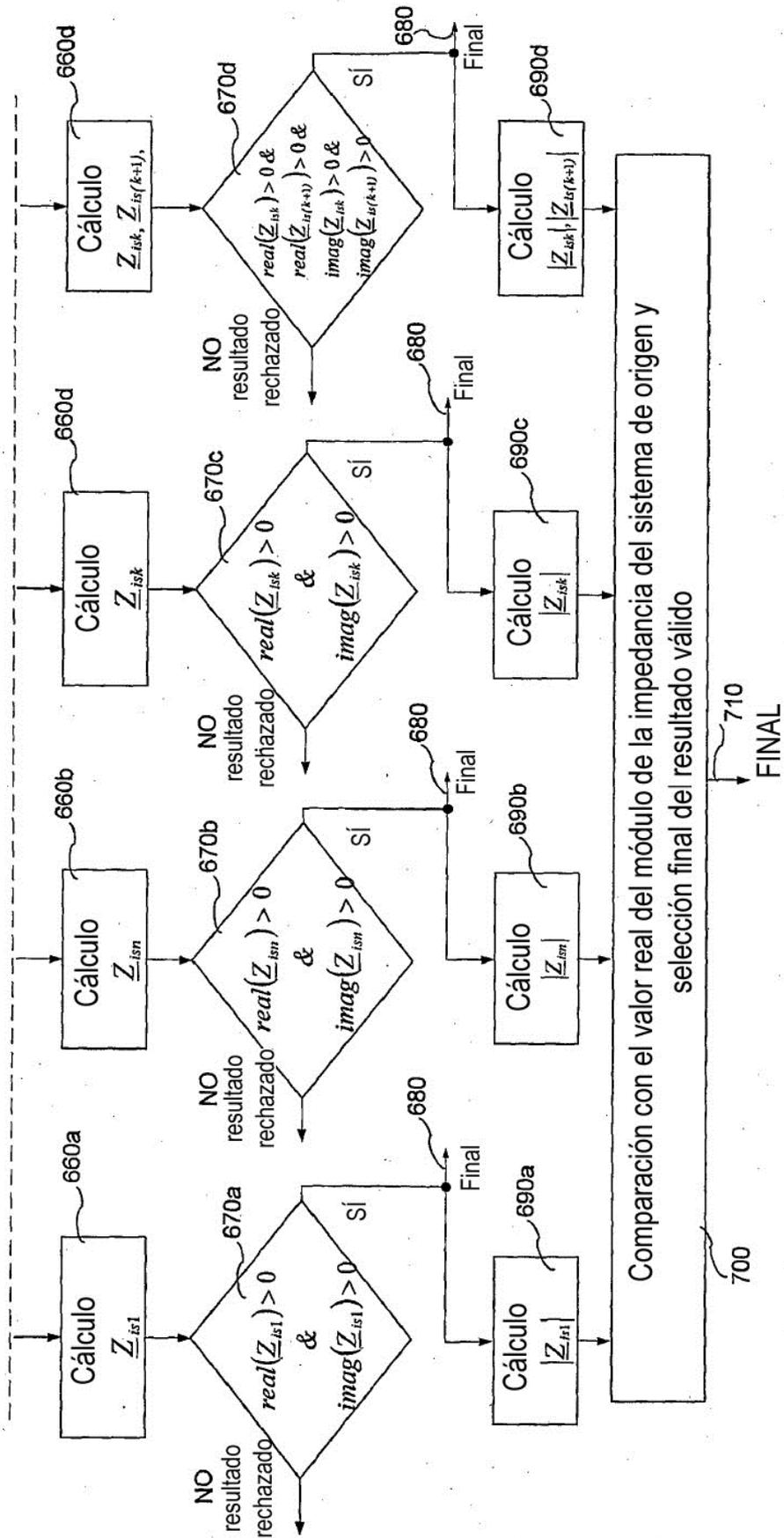


Fig. 19b