

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 434 992**

51 Int. Cl.:

H02H 3/30 (2006.01)

H02H 3/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2009 E 09756303 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2013 EP 2502318**

54 Título: **Relé de inferencia difusa y procedimiento de protección de corriente diferencial en una línea de transmisión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.12.2013

73 Titular/es:

ALSTOM TECHNOLOGY LTD. (50.0%)

Brown Boveri Str. 7

5400 Baden, CH y

SCHNEIDER ELÉCTRIC ENERGY UK LTD (50.0%)

72 Inventor/es:

REBIZANT, WALDEMAR;

SOLAK, KRZYSZTOF;

WISZNIEWSKI, ANDRZEJ y

KLIMEK, ANDRZEJ

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 434 992 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

Relé de inferencia difusa y procedimiento de protección de corriente diferencial en una línea de transmisión

Campo técnico de la invención

5 La invención se refiere a la protección de una línea de transmisión que utiliza mediciones de corriente obtenidas con transductores de medición del tipo transformador de corriente.

La invención también se refiere a sistemas de protección de una línea de transmisión y, más específicamente, a un relé de protección de corriente diferencial y a un procedimiento para líneas de transmisión de energía.

10 La invención también se refiere a un procedimiento para operar un relé de protección de corriente diferencial eléctricamente acoplado a una zona de protección de una línea de transmisión de energía eléctrica, a procedimientos para proteger una zona de una línea de transmisión que tenga relés de protección de corriente diferencial acoplados a la misma, y a un relé de protección de corriente diferencial.

La zona de protección puede incluir partes de una línea de transmisión que tenga dos extremos terminales.

Técnica anterior

15 Un sistema de protección de corriente diferencial sólo utiliza la información de los valores de corrientes eléctricas obtenida de la línea protegida. La protección de corriente diferencial requiere una comparación de las corrientes que entran y salen de una zona protegida de la línea. En la figura 1 se representa un ejemplo de un sistema de protección de corriente diferencial de una línea de transmisión eléctrica. Unos relés 2, 4 de protección están situados en cada extremo de una línea protegida 1. Tal sistema puede proporcionar una protección de corriente diferencial de fase segregada. Unos disyuntores 6, 8 y unos transformadores 7, 9 de corriente (CT) están asociados, respectivamente, con los relés 2, 4. Los relés 2, 4 se comunican a través de una línea 10 de comunicación.

20 El documento US 2007/0070565 da a conocer un relé para la protección de corriente diferencial de al menos una línea de transmisión, que comprende una función de cálculo de las corrientes de secuencia simétricas, que incluyen corrientes de secuencia nula y corrientes de secuencia negativa de las corrientes de cada fase de la línea de transmisión en los extremos local y remoto de la línea de transmisión protegida, y una función de cálculo adicional que emite una señal de desconexión para el control de al menos un disyuntor dispuesto en la línea de transmisión y asociado con el relé.

30 En operación, cada transformador 7, 9 de corriente mide los valores de la corriente de la línea en cada extremo de la línea protegida 1, y transmite esos valores a su relé asociado. Cada relé 2, 4 transmite esos valores al relé situado en el otro extremo de la línea 1, para cada fase de la línea 1 de transmisión. Así, para cada fase, el relé 2 combinará el valor i_s de la corriente dado por el transformador 7 de corriente con los valores i_r enviados desde el relé remoto, esto es el relé 4, y transmitidos por la línea 10 de comunicación. Cuando aparece un fallo externo (por ejemplo en la línea externa 12), la suma de los valores de la corriente será cero ($i_s + i_r = 0$), mientras que los fallos internos (en la línea protegida 1, entre los relés 2, 4) resultarán en corrientes combinadas no nulas ($i_s + i_r \neq 0$).

35 Adicionalmente, la suma de los valores de las corrientes será igual a cero cuando no haya fallos, ni en la línea externa 12 ni en la línea protegida 1.

40 Cada relé 2, 4 controla su disyuntor 6, 8 asociado de acuerdo con una función de estabilización en forma de una característica de polarización diferencial apropiada que representa las condiciones de desconexión de los disyuntores 6, 8 asociados con los relés 2, 4. El uso de dicha característica de polarización diferencial evita una desconexión no deseada de la línea por parte de los relés como resultado de una corriente de carga no completamente compensada, errores de los CT, etc. En la figura 2 se muestra una correspondiente característica de polarización diferencial. De acuerdo con esta característica, los criterios de desconexión son:

$$\text{para } |i_{\text{polarización}}| < I_{S2}, \text{ desconectar cuando } |i_{\text{diferencial}}| > k_1 |i_{\text{polarización}}| + I_{S1};$$

$$\text{para } |i_{\text{polarización}}| > I_{S2}, \text{ desconectar cuando } |i_{\text{diferencial}}| > k_2 |i_{\text{polarización}}| - (k_2 - k_1) I_{S2} + I_{S1};$$

45 en donde:

$$|i_{\text{polarización}}| = 0,5 (|i_s| + |i_r|) ;$$

$$|i_{\text{diferencial}}| = |i_s + i_r|;$$

k_1 , k_2 : porcentajes de polarización.

Los valores de I_{s1} , I_{s2} , k_1 y k_2 se eligen arbitrariamente de acuerdo con las características de la línea a proteger y el tipo de protección deseada.

5 Aunque en la mayoría de los casos esta disposición de protección estándar es suficiente, aún existen casos en los que la protección puede fallar, especialmente en fallos externos con una saturación severa de los CT debida al deterioro de componentes de CC en corrientes de pérdida con una larga constante de tiempo.

Descripción de la invención

Así pues, existe la necesidad de una protección mejorada de las líneas de transmisión con una estabilización mejorada en casos de fallos externos, pero que mantenga la sensibilidad y la velocidad de operación cuando haya fallos internos que requieran una rápida desconexión.

10 Una realización de la invención propone un relé de protección de corriente diferencial de al menos una línea de transmisión, que comprende al menos:

15 una primera calculadora de las corrientes simétricas de secuencia, o de los componentes simétricos de secuencia, que incluyen las corrientes i_0 de secuencia cero, las corrientes i_1 de secuencia positiva y las corrientes i_2 de secuencia negativa, de las corrientes de cada fase de la línea de transmisión en los extremos local y remoto de la línea protegida de transmisión;

una segunda calculadora de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} entre las corrientes de combinación i_{12} e i_{012} de las corrientes simétricas de secuencia i_0 , i_1 e i_2 de cada extremo de la línea de transmisión;

un sistema de inferencia difusa que emite una variable "y" cuyo valor se calcula de acuerdo con los valores de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} ;

20 una tercera calculadora que emite una señal de desconexión para el control de al menos un disyuntor dispuesto en la línea de transmisión y asociado con el relé, calculándose el valor de la señal de desconexión de acuerdo con los valores de la variable "y" y los valores de las corrientes de cada fase de la línea de transmisión en los extremos local y remoto de la línea de transmisión protegida.

25 Tal protección de corriente diferencial permite mejores rendimientos de desconexión, particularmente en los casos de fallos externos con saturación severa de los CT, cuando la protección de corriente diferencial tradicional puede funcionar mal. Evita la desconexión no deseada de una línea de transmisión sana, que puede poner en peligro la estabilidad del sistema global de electricidad, especialmente cuando la línea protegida está fuertemente cargada.

30 La protección de corriente diferencial de acuerdo con la invención combina las ventajas de los criterios comparativos de los valores tanto de magnitud como de fase de las corrientes. El valor de la señal de desconexión, que puede corresponder a una característica de estabilización del relé, se adapta de acuerdo con el valor de salida del sistema de inferencia difusa que aplica lógica difusa a las diferencias de fase de las combinaciones de corrientes de secuencia. Dicha característica de estabilización adaptativa mejora el rendimiento de la protección de corriente diferencial y asegura una mayor robustez, en particular en los casos de fallos externos con saturación de los CT.

35 Las corrientes de combinación i_{12} e i_{012} pueden ser tales que:

$$i_{12} = i_2 - k_{1g}i_1;$$

$$i_{012} = k_{2p}i_2 + k_{1g}(i_1 + i_0);$$

en donde $k_{1g} = k_{2p} = 0$ cuando la amplitud de corriente de cada fase es superior, o igual, a aproximadamente 1,5 por unidad en cualquier fase, y en otro caso siendo k_{1g} y k_{2p} números reales distintos a cero.

40 El sistema de inferencia difusa puede comprender al menos:

- una unidad de fusificación que pueda convertir los valores de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} en variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$;
 - una unidad de operación de inferencia que pueda ejecutar una operación de inferencia en variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$ de acuerdo con una base de reglas difusas y que pueda emitir unos conjuntos difusos finales $\mu(y)$ como resultado de dicha operación de inferencia;
 - una unidad de defusificación que pueda convertir los conjuntos difusos finales $\mu(y)$ en la variable "y" mediante una operación de defusificación.
- 45

En este caso, la unidad de fusificación puede convertir la diferencia de fase φ_{12} en la variable difusa $\mu(\varphi_{12})$, de tal modo que:

- cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{12})$ pueda ser “Baja” con un valor igual a 1, y “Alta” con un valor igual a 0;
- 5 - cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 80° y 180° , $\mu(\varphi_{12})$ pueda ser “Baja” con un valor igual a 0, y “Alta” con un valor igual a 1;
- cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 75° y 80° , $\mu(\varphi_{12})$ pueda ser “Baja” con un valor igual a $1 - \frac{\varphi_{12} - 75}{5}$, y “Alta” con un valor igual a $\frac{\varphi_{12} - 75}{5}$.

La unidad de fusificación puede convertir la diferencia de fase φ_{012} en la variable difusa $\mu(\varphi_{012})$, de tal modo que:

- 10 - cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{012})$ pueda ser “Baja” con un valor igual a 1, y “Alta” con un valor igual a 0;
- cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 85° y 180° , $\mu(\varphi_{012})$ pueda ser “Baja” con un valor igual a 0, y “Alta” con un valor igual a 1;
- cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 75° y 85° , $\mu(\varphi_{012})$ pueda ser “Baja” con un valor igual a $1 - \frac{\varphi_{012} - 75}{10}$, y “Alta” con un valor igual a $\frac{\varphi_{012} - 75}{10}$.

La unidad de operación de inferencia puede ejecutar la operación de inferencia de acuerdo con la siguiente base de reglas difusas:

Si φ_{012} es “Alta” Y φ_{12} es “Alta” ENTONCES “y” es “L”;

Si φ_{012} es “Baja” Y φ_{12} es “Alta” O φ_{012} es “Alta” Y φ_{12} es “Baja” ENTONCES “y” es “M”;

- 20 Si φ_{012} es “Baja” Y φ_{12} es “Baja” ENTONCES “y” es “H”;

en donde “L”, “M” y “H”, que son simples, corresponden a los valores de salida 0, 1 y 2, respectivamente.

Las funciones lógicas “Y” y “O” de la base de reglas difusas pueden corresponder a los operadores “Producto” y “Máximo” respectivamente.

- 25 La operación de defusificación puede ser un procedimiento de factor de ponderación, pudiendo expresarse el valor “y” de salida resultante por:

$$y = \frac{\mu_L y_L + \mu_M y_M + \mu_H y_H}{\mu_L + \mu_M + \mu_H}$$

en donde

$\mu_L = 1$ cuando $y = 0$, y $\mu_L = 0$ en otro caso;

$\mu_M = 1$ cuando $y = 1$, y $\mu_M = 0$ en otro caso;

- 30 $\mu_H = 1$ cuando $y = 2$, y $\mu_H = 0$ en otro caso.

La tercera calculadora puede calcular valores de los porcentajes de polarización k_1 y k_2 de una característica estabilizada que corresponda con la señal de desconexión, de tal modo que:

$k_1 = 0,3 + 0,8y$ cuando el parámetro “y” sea superior a aproximadamente 1,5, y $k_1 = 0,3$ en otro caso;

$$k_2 = 1,5 + 1,6y;$$

- 35 siendo las condiciones de desconexión del disyuntor:

para $|i_{polarización}| < I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{diferencial}| > k_1 |i_{polarización}| + I_{S1}$;

para $|i_{polarización}| > I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{diferencial}| > k_2 |i_{polarización}| - (k_2 - k_1) I_{S2} + I_{S1}$;

en donde, para cada fase de la línea de transmisión:

$$|i_{\text{polarización}}| = 0,5 (|i_s| + |i_r|) \text{ y}$$

$$|i_{\text{diferencial}}| = |i_s - i_r|, \text{ en donde}$$

i_s : corriente en el extremo local de la línea de transmisión protegida;

5 i_r : corriente en el extremo remoto de la línea de transmisión protegida;

I_{S1}, I_{S2} : números reales positivos distintos a cero.

Otra realización de la presente invención se refiere a un procedimiento de protección de corriente diferencial de al menos una línea de transmisión, que comprende al menos las etapas de:

- 10 - calcular las corrientes simétricas de secuencia, que incluyen las corrientes i_0 de secuencia cero, las corrientes i_1 de secuencia positiva y las corrientes i_2 de secuencia negativa de las corrientes de cada fase de la línea de transmisión en los extremos local y remoto de la línea protegida de transmisión;
- calcular las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} entre las corrientes de combinación i_{12} e i_{012} de las corrientes simétricas de secuencia i_0, i_1 e i_2 de cada uno de los extremos de la línea de transmisión;
- 15 - aplicar un procedimiento de inferencia difusa en las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} que emita una variable "y" cuyo valor se calcule de acuerdo con los valores de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} ;
- calcular un valor de una señal de desconexión para el control de al menos un disyuntor dispuesto en la línea de transmisión de acuerdo con los valores de la variable "y" y los valores de las corrientes de cada fase de la línea de transmisión en los extremos local y remoto de la línea de transmisión protegida.

El procedimiento de inferencia difusa puede comprender al menos las etapas de:

- 20 - una operación de fusificación que pueda convertir los valores de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} en variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$;
- una operación de inferencia en las variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$ de acuerdo con una base de reglas difusas y que pueda emitir unos conjuntos difusos finales $\mu(y)$;
- 25 - una operación de defusificación que pueda convertir los conjuntos difusos finales $\mu(y)$ en la variable "y".

La operación de fusificación puede convertir la diferencia de fase φ_{12} en la variable difusa $\mu(\varphi_{12})$, de tal modo que:

- cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{12})$ pueda ser "Baja" con un valor igual a 1, y "Alta" con un valor igual a 0;
- 30 - cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 80° y 180° , $\mu(\varphi_{12})$ pueda ser "Baja" con un valor igual a 0, y "Alta" con un valor igual a 1;
- cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 75° y 80° , $\mu(\varphi_{12})$ pueda ser "Baja" con un valor igual a $1 - \frac{\varphi_{12} - 75}{5}$, y "Alta" con un valor igual a $\frac{\varphi_{12} - 75}{5}$.

La operación de fusificación puede convertir la diferencia de fase φ_{012} en la variable difusa $\mu(\varphi_{012})$, de tal modo que:

- 35 - cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{012})$ pueda ser "Baja" con un valor igual a 1, y "Alta" con un valor igual a 0;
- cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 85° y 180° , $\mu(\varphi_{012})$ pueda ser "Baja" con un valor igual a 0, y "Alta" con un valor igual a 1;
- cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 75° y 85° , $\mu(\varphi_{012})$ pueda ser "Baja" con un valor igual a $1 - \frac{\varphi_{012} - 75}{10}$, y "Alta" con un valor igual a $\frac{\varphi_{012} - 75}{10}$.
- 40

La operación de inferencia puede ejecutarse de acuerdo con la siguiente base de reglas difusas:

Si φ_{012} es "Alta" Y φ_{12} es "Alta" ENTONCES "y" es "L";

Si φ_{012} es "Baja" Y φ_{12} es "Alta" O φ_{012} es "Alta" Y φ_{12} es "Baja" ENTONCES "y" es "M";

Si φ_{012} es "Baja" Y φ_{12} es "Baja" ENTONCES "y" es "H";

- 5 correspondiendo "L", "M" y "H", que son simples, a los valores de salida 0, 1 y 2, respectivamente.

Los porcentajes de polarización k_1 y k_2 de una característica estabilizada que corresponda con la señal de desconexión, pueden calcularse de tal modo que:

$$k_1 = 0,3 + 0,8y;$$

$$k_2 = 1,5 + 1,6y;$$

- 10 siendo las condiciones de desconexión del disyuntor:

para $|i_{\text{polarización}}| < I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{\text{diferencial}}| > k_1 |i_{\text{polarización}}| + I_{S1}$;

para $|i_{\text{polarización}}| > I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{\text{diferencial}}| > k_2 |i_{\text{polarización}}| - (k_2 - k_1) I_{S2} + I_{S1}$;

en donde, para cada fase de la línea de transmisión:

$$|i_{\text{polarización}}| = 0,5 (|i_s| + |i_r|) \text{ y}$$

- 15 $|i_{\text{diferencial}}| = |i_s + i_r|$, con

i_s : corriente en el extremo local de la línea de transmisión protegida;

i_r : corriente en el extremo remoto de la línea de transmisión protegida;

I_{S1} , I_{S2} : números reales positivos distintos a cero.

- 20 La invención también se refiere a un sistema de protección de corriente diferencial que comprende al menos dos relés como los anteriormente descritos, estando acoplado cada uno de los mismos a un extremo de una línea de transmisión y enlazados entre sí a través de un medio de comunicación.

Los valores de las corrientes en los extremos local y remoto de la línea de transmisión pueden medirse mediante transductores de medición, por ejemplo transformadores de corriente dispuestos en cada uno de los extremos de la línea de transmisión.

- 25 La invención también se refiere a un procedimiento para operar un relé de protección de corriente diferencial acoplado eléctricamente a una línea de transmisión, comprendiendo dicho procedimiento la ejecución de un procedimiento de protección de corriente diferencial como el anteriormente descrito.

Breve descripción de los dibujos

- 30 La presente invención se comprenderá mejor al leer la descripción de las realizaciones ejemplares ofrecidas con fines puramente ilustrativos, y no limitativos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

- la figura 1 muestra un sistema de protección de corriente diferencial de una línea de transmisión de la técnica anterior;
 - la figura 2 muestra una función de estabilización de un relé de protección de corriente diferencial;
 - la figura 3 muestra un sistema de protección de corriente diferencial para una línea de transmisión de dos extremos, de acuerdo con una realización particular de la invención;
 - la figura 4 muestra un relé, de acuerdo con una realización particular de la invención, de un sistema de protección de corriente diferencial;
 - la figura 5 muestra un diagrama de bloques de un sistema de inferencia difusa de un relé, de acuerdo con una realización particular de la invención;
 - la figura 6 muestra unas funciones de membresía trapezoidal utilizadas por una unidad de fusificación de un sistema de inferencia de fusificación de un relé, de acuerdo con una realización particular de la
- 40

invención;

- la figura 7 muestra unos conjuntos difusos finales obtenidos con una unidad de operación de inferencia de un sistema de inferencia de fusificación de un relé, de acuerdo con una realización particular de la invención.

5 Las porciones idénticas, similares o equivalentes de las figuras descritas a continuación tienen asignadas las mismas referencias numéricas para facilitar el salto de una figura a otra.

Las diversas porciones mostradas en las figuras no se muestran necesariamente de acuerdo con una escala uniforme, para hacer las figuras más legibles.

10 Las diversas posibilidades (alternativas y realizaciones) no deben interpretarse como mutuamente exclusivas y pueden combinarse entre sí.

Descripción detallada de las realizaciones particulares

15 La figura 3 muestra una vista esquemática de un sistema 1000 de protección de corriente diferencial, de acuerdo con una realización particular. Este sistema comprende dos relés 100a, 100b, estando acoplado cada uno de los mismos a un extremo, o terminal, de una línea 204 de transmisión que es la línea eléctrica protegida por el sistema 1000. El acoplamiento se lleva a cabo para cada fase 204.1 – 204.3 de la línea 204 de transmisión, en este caso para las tres fases de la línea 204. Unos disyuntores 200.1a – 200.3a y 200.1b – 200.3b y unos transformadores de corriente (CT) 202.1a – 202.3a y 202.1b – 202.3b están dispuestos en cada una de las fases 204.1 – 204.3 de la línea 204 de transmisión y están asociados, respectivamente, con los relés 100a y 100b. Una comunicación entre los relés 100a y 100b se lleva a cabo mediante una línea 206 de comunicación, que en esta realización particular es una línea de fibra óptica. Sin embargo, la línea 206 de comunicación entre los relés 100a, 100b puede ser otro tipo de enlace de comunicación, como por ejemplo un enlace multiplexado.

20 En operación, cada uno de los transformadores 202.1a – 202.3a, 202.1b – 202.3b de corriente mide los valores de la corriente de la línea en cada uno de los extremos de la línea protegida 204 y transmite esos valores a su relé asociado 100a, 100b. Cada uno de los relés 100a, 100b transmite dichos valores al relé del otro extremo de la línea 204, para cada fase 204.1 – 204.3 de la línea 204 de transmisión. Así, para cada fase, cada uno de los relés 100a, 100b combina la corriente local i_s suministrada por los transformadores de corriente asociados, con los valores i_r enviados desde el relé remoto.

25 La figura 4 muestra una vista esquemática de un relé 100 que se corresponde con uno de los relés 100a, 100b, de acuerdo con una realización particular. A continuación se describirá el funcionamiento del relé 100 para una fase de la línea 204 de transmisión, pero es el mismo para las otras fases de la línea 204, por ejemplo en un sistema de corriente eléctrica de tres fases como el sistema 1000 representado en la figura 3.

30 El relé 100 comprende una primera entrada 102 para recibir, para cada fase, la corriente i_s medida por su transformador de corriente asociado, y una segunda entrada 104 para recibir los valores i_r de la corriente de la línea desde el relé remoto en el extremo opuesto de la zona protegida de la línea 204 de transmisión. La corriente de cada extremo de la línea puede medirse mediante muestreo a una frecuencia fija. Las muestras de datos representan los valores instantáneos de las formas de onda de la corriente, y pueden contener compensación de la cc, armónicos y componentes de alta frecuencia.

35 A continuación se filtran las señales i_s e i_r con un filtro 106, que puede ser un filtro digital, utilizando la técnica de filtrado de Fourier de un ciclo que genera los componentes de frecuencia de corriente de las formas de onda de la corriente en forma de vectores. A través de los canales de comunicación, se transmiten los valores vectoriales de las tres fases junto con la restante información relevante de temporización y de estatus, hasta los otros extremos de la línea. Esta información se considera como información remota para el/los relé/s restante/s. En base a la información vectorial local y a la recibida, una unidad 108 de cálculo calcula las corrientes diferenciales $i_{diferencial}$ y las corrientes de polarización, o estabilización $i_{polarización}$, de tal modo que para cada fase:

45
$$|i_{polarización}| = 0,5 (|i_s| + |i_r|),$$

y

$$|i_{diferencial}| = |i_s + i_r|.$$

50 Una primera calculadora 110 utiliza entonces los valores de i_s e i_r para calcular las corrientes de secuencia, esto es las corrientes i_0 de secuencia cero, las corrientes i_1 de secuencia positiva y las corrientes i_2 de secuencia negativa, a partir de la información vectorial local y remota obtenida a la salida del filtro 106. Las corrientes de secuencia son, para la información vectorial remota:

$$i_0 = \frac{1}{3}(i_{ra} + i_{rb} + i_{rc})$$

$$i_1 = \frac{1}{3}(i_{ra} + ai_{rb} + a^2i_{rc})$$

$$i_2 = \frac{1}{3}(i_{ra} + a^2i_{rb} + ai_{rc})$$

5 en donde $a = 1 < 120^\circ$, e i_{ra} , i_{rb} , i_{rc} corresponden respectivamente a la corriente del extremo remoto para cada una de las tres fases a, b y c.

Para la información vectorial local, las corrientes de secuencia son:

$$i_0 = \frac{1}{3}(i_{sa} + i_{sb} + i_{sc})$$

$$i_1 = \frac{1}{3}(i_{sa} + ai_{sb} + a^2i_{sc})$$

$$i_2 = \frac{1}{3}(i_{sa} + a^2i_{sb} + ai_{sc})$$

en donde i_{sa} , i_{sb} , i_{sc} corresponden respectivamente a la corriente local de cada una de las tres fases a, b y c.

10 Luego la primera calculadora 110 utiliza estas corrientes de secuencia para obtener el valor de una primera señal i_{12} de combinación:

$$i_{12} = i_2 - k_{1g}i_1$$

15 siendo i_{12} la combinación de la corriente i_2 de secuencia negativa con la corriente i_1 de secuencia positiva. En esta combinación, siempre aparece la corriente i_2 de secuencia negativa, mientras que la corriente de secuencia positiva sólo se resta con un coeficiente k_{1g} adecuado cuando se produce un fallo trifásico. De hecho, para los fallos simétricos (esto es cuando la amplitud de la corriente de cada fase es superior, o igual, a aproximadamente 1,5 por unidad en cualquier fase), k_{1g} es igual a cero. En otro caso, se elige un valor distinto a cero para k_{1g} , por ejemplo, igual a 6.

También se calcula una segunda señal i_{012} de combinación mediante la segunda calculadora 110:

$$i_{012} = k_{2p}i_2 + k_{1g}(i_1 + i_0)$$

20 Así pues, comparada con i_{12} , i_{012} está enriquecida con una corriente de secuencia cero para mejorar la detección de pérdidas a tierra. El cálculo de las señales de combinación se inicia cuando la corriente de polarización es superior, o igual, a 1,5 por unidad en cualquier fase. De hecho, al igual que k_{1g} , para fallos simétricos, k_{12p} es igual a cero. En otro caso, se elige un valor distinto a cero para k_{2p} , por ejemplo, igual a 6.

25 Las señales i_{12} e i_{012} de combinación se calculan para todas las corrientes de secuencia anteriormente calculadas, esto es a partir de la información vectorial local y remota.

A continuación la segunda calculadora (que es la primera calculadora 110 en el ejemplo representado en la figura 5) calcula los valores de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} entre las señales i_{12} e i_{012} de combinación, y se emiten

desde la primera calculadora 110 hasta un sistema 112 de inferencia difusa.

La figura 5 muestra un diagrama de bloques de un sistema 112 de inferencia difusa, que comprende tres unidades principales. Una primera unidad 114 es una unidad de fusificación que convierte las variables de entrada, esto es φ_{12} y φ_{012} , en variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$ con el uso de funciones de membresía trapezoidal tal como se representa en la figura 6.

Así, cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{12})$ será “Baja” con un valor igual a 1, y “Alta” con un valor igual a 0. Cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 80° y 180° , entonces $\mu(\varphi_{12})$ será “Baja” con un valor igual a 0, y “Alta” con un valor igual a 1. Cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 75° y 80° , $\mu(\varphi_{12})$ será “Baja” con un valor igual a $1 - \frac{\varphi_{12} - 75}{5}$, y “Alta” con un valor igual a $\frac{\varphi_{12} - 75}{5}$.

Cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{012})$ será “Baja” con un valor igual a 1, y “Alta” con un valor igual a 0. Cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 85° y 180° , $\mu(\varphi_{012})$ será “Baja” con un valor igual a 0, y “Alta” con un valor igual a 1. Cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 75° y 85° , $\mu(\varphi_{012})$ será “Baja” con un valor igual a $1 - \frac{\varphi_{012} - 75}{10}$, y “Alta” con un valor igual a $\frac{\varphi_{012} - 75}{10}$.

Aunque en esta realización se utilizan funciones de membresía trapezoidal, pueden utilizarse otros tipos de funciones de membresía para convertir las diferencias de fase en variables difusas (funciones conformadas en S, sigmoidales, conformadas en Z, de membresía triangular, ...).

A continuación, una segunda unidad 116, que es una unidad de operación de inferencia, lleva a cabo una operación de inferencia sobre las variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$ para obtener unos conjuntos difusos finales $\mu(y)$. En esta realización, la base de reglas difusas utilizada por la segunda unidad 116 está compuesta por tres instrucciones:

Si φ_{012} es “Alta” Y φ_{12} es “Alta” ENTONCES $\mu(y)$ es “L”;

Si φ_{012} es “Baja” Y φ_{12} es “Alta” O φ_{012} es “Alta” Y φ_{12} es “Baja” ENTONCES $\mu(y)$ es “M”;

Si φ_{012} es “Baja” Y φ_{12} es “Baja” ENTONCES $\mu(y)$ es “H”;

en donde “L”, “M” y “H”, que son simples, corresponden a los valores de salida 0, 1 y 2, respectivamente (véase la figura 7 que representan los conjuntos difusos finales).

El procedimiento de inferencia utilizado con la base de reglas difusas puede ser un procedimiento PROD-MAX, en el cual los operadores “Producto” y “Máximo” representan las funciones lógicas “Y” y “O”, respectivamente. Sin embargo, pueden utilizarse otros procedimientos de inferencia, como MAX-MIN (en el cual los operadores “Mínimo” y “Máximo” representan las funciones lógicas “Y” y “O”), o SUM-PROD (en el cual los operadores “Suma” y “Producto” representan las funciones lógicas “Y” y “O”).

Finalmente, una tercera unidad 118 lleva a cabo una operación de defusificación que convierte los conjuntos difusos finales $\mu(y)$ de vuelta a unos respectivos valores concisos mediante el uso de un procedimiento de factor de ponderación, expresándose el resultante valor conciso por:

$$y = \frac{\mu_L y_L + \mu_M y_M + \mu_H y_H}{\mu_L + \mu_M + \mu_H}$$

en donde

$\mu_L = 1$ cuando $y = 0$, y $\mu_L = 0$ en otro caso;

$\mu_M = 1$ cuando $y = 1$, y $\mu_M = 0$ en otro caso;

$\mu_H = 1$ cuando $y = 2$, y $\mu_H = 0$ en otro caso.

A continuación una tercera calculadora 120 del relé utiliza el valor “y” obtenido a la salida del sistema 112 de inferencia difusa para calcular los valores de los porcentajes de polarización k_1 y k_2 de una característica estabilizada:

$k_1 = 0,3 + 0,8y$ cuando el parámetro “y” sea superior a aproximadamente 1,5, y $k_1 = 0,3$ en otro caso;

ES 2 434 992 T3

$$k_2 = 1,5 + 1,6y.$$

Así pues, las condiciones de desconexión del relé 100 son:

Para $|i_{\text{polarización}}| < I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{\text{diferencial}}| > k_1 |i_{\text{polarización}}| + I_{S1}$;

Para $|i_{\text{polarización}}| > I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{\text{diferencial}}| > k_2 |i_{\text{polarización}}| - (k_2 - k_1) I_{S2} + I_{S1}$;

5 en donde $i_{S1} = 0,3$ y $i_{S2} = 2$.

REIVINDICACIONES

1.- Un relé (100, 100a, 100b) de protección de corriente diferencial de al menos una línea (204) de transmisión, que comprende al menos:

5 una primera calculadora (110) de las corrientes simétricas de secuencia, que incluyen las corrientes i_0 de secuencia cero, las corrientes i_1 de secuencia positiva y las corrientes i_2 de secuencia negativa, de las corrientes de cada fase (204.1, 204.2, 204.3) de la línea (204) de transmisión en los extremos local y remoto de la línea (204) de transmisión protegida;

10 una segunda calculadora (110) de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} entre las corrientes de combinación i_{12} e i_{012} de las corrientes simétricas de secuencia i_0 , i_1 e i_2 de cada uno de los extremos de la línea (204) de transmisión;

un sistema (112) de inferencia difusa que emite una variable "y" cuyo valor se calcula de acuerdo con los valores de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} ;

15 una tercera calculadora (120) que emite una señal de desconexión para el control de al menos un disyuntor (200.1a, 200.2a, 200.3a, 200.1b, 200.2b, 200.3b) dispuesto en la línea (204) de transmisión y asociado con el relé (100, 100a, 100b), calculándose el valor de la señal de desconexión de acuerdo con los valores de la variable "y" y los valores de las corrientes de cada fase (204.1, 204.2, 204.3) de la línea (204) de transmisión en los extremos local y remoto de la línea (204) de transmisión protegida.

2.- El relé (100, 100a, 100b) de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual las corrientes de combinación i_{12} e i_{012} son tales que:

20
$$i_{12} = i_2 - k_{1g}i_1;$$

$$i_{012} = k_{2p}i_2 + k_{1g}(i_1 + i_0);$$

en donde $k_{1g} = k_{2p} = 0$ cuando la amplitud de corriente de cada fase es superior, o igual, a aproximadamente 1,5 por unidad en cualquier fase, y en otro caso siendo k_{1g} y k_{2p} números reales distintos a cero.

25 3.- El relé (100, 100a, 100b) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en el cual el sistema (112) de inferencia difusa comprende al menos:

- una unidad (114) de fusificación que convierte los valores de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} en variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$;
- una unidad (116) de operación de inferencia que ejecuta una operación de inferencia sobre las variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$ de acuerdo con una base de reglas difusas y emite unos conjuntos difusos finales $\mu(y)$ como resultado de dicha operación de inferencia;
- una unidad (118) de defusificación que convierte los conjuntos difusos finales $\mu(y)$ en la variable "y" mediante una operación de defusificación.

4.- El relé (100, 100a, 100b) de acuerdo con la reivindicación 3, en el cual la unidad (114) de fusificación convierte la diferencia de fase φ_{12} en la variable difusa $\mu(\varphi_{12})$, de tal modo que:

- 35 - cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{12})$ será "Baja" con un valor igual a 1, y "Alta" con un valor igual a 0;
- cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 80° y 180° , $\mu(\varphi_{12})$ será "Baja" con un valor igual a 0, y "Alta" con un valor igual a 1;
- cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 75° y 80° , $\mu(\varphi_{12})$ será "Baja" con un valor igual a
- 40 $1 - \frac{\varphi_{12} - 75}{5}$, y "Alta" con un valor igual a $\frac{\varphi_{12} - 75}{5}$.

5.- El relé (100, 100a, 100b) de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 ó 4, en el cual la unidad (114) de fusificación convierte la diferencia de fase φ_{012} en la variable difusa $\mu(\varphi_{012})$, de tal modo que:

- cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{012})$ será "Baja" con un valor igual a 1, y "Alta" con un valor igual a 0;

- cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 85° y 180° , $\mu(\varphi_{012})$ será "Baja" con un valor igual a 0, y "Alta" con un valor igual a 1;
- cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 75° y 85° , $\mu(\varphi_{12})$ será "Baja" con un valor igual a $1 - \frac{\varphi_{012} - 75}{10}$, y "Alta" con un valor igual a $\frac{\varphi_{012} - 75}{10}$.

5 6.- El relé (100, 100a, 100b) de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 5, en el cual la unidad (116) de operación de inferencia ejecuta la operación de inferencia de acuerdo con la siguiente base de reglas difusas:

SI φ_{012} es "Alta" Y φ_{12} es "Alta" ENTONCES "y" es "L";

SI φ_{012} es "Baja" Y φ_{12} es "Alta" O φ_{012} es "Alta" Y φ_{12} es "Baja" ENTONCES "y" es "M";

SI φ_{012} es "Baja" Y φ_{12} es "Baja" ENTONCES "y" es "H";

10 en donde "L", "M" y "H", que son simples, corresponden a los valores de salida 0, 1 y 2, respectivamente.

7.- El relé (100, 100a, 100b) de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual las funciones lógicas "Y" y "O" de la base de reglas difusas corresponden a los operadores "Producto" y "Máximo" respectivamente.

8.- El relé (100, 100a, 100b) de acuerdo con una de las reivindicaciones 3 a 7, en el cual la operación de defusificación es un procedimiento de factor de ponderación, expresándose el valor "y" de salida resultante por:

15
$$y = \frac{\mu_L y_L + \mu_M y_M + \mu_H y_H}{\mu_L + \mu_M + \mu_H}$$

en donde

$\mu_L = 1$ cuando $y = 0$, y $\mu_L = 0$ en otro caso;

$\mu_M = 1$ cuando $y = 1$, y $\mu_M = 0$ en otro caso;

$\mu_H = 1$ cuando $y = 2$, y $\mu_H = 0$ en otro caso.

20 9.- El relé (100, 100a, 100b) de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, en el cual la tercera calculadora (120) calcula valores de los porcentajes de polarización k_1 y k_2 de una característica estabilizada que corresponda con la señal de desconexión, de tal modo que:

$k_1 = 0,3 + 0,8y$ cuando el parámetro "y" es superior a aproximadamente 1,5, y $k_1 = 0,3$ en otro caso;

$$k_2 = 1,5 + 1,6y;$$

25 siendo las condiciones de desconexión del disyuntor (200.1a, 200.2a, 200.3a, 200.1b, 200.2b, 200.3b) :

para $|i_{\text{polarización}}| < I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{\text{diferencial}}| > k_1 |i_{\text{polarización}}| + I_{S1}$;

para $|i_{\text{polarización}}| > I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{\text{diferencial}}| > k_2 |i_{\text{polarización}}| - (k_2 - k_1) I_{S2} + I_{S1}$;

en donde, para cada fase (204.1, 204.2, 204.3) de la línea (204) de transmisión:

$$|i_{\text{polarización}}| = 0,5 (|i_s| + |i_r|)$$

30 y

$$|i_{\text{diferencial}}| = |i_s + i_r|,$$

en donde

i_s : corriente en el extremo local de la línea (204) de transmisión protegida;

i_r : corriente en el extremo remoto de la línea (204) de transmisión protegida;

35 I_{S1} , I_{S2} : números reales positivos distintos a cero.

10.- Un procedimiento de protección de corriente diferencial de al menos una línea (204) de transmisión, que

comprende al menos las etapas de:

- 5 - calcular las corrientes simétricas de secuencia, que incluyen las corrientes i_0 de secuencia cero, las corrientes i_1 de secuencia positiva y las corrientes i_2 de secuencia negativa, de las corrientes de cada fase (204.1, 204.2, 204.3) de la línea (204) de transmisión en los extremos local y remoto de la línea (204) de transmisión protegida;
- calcular las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} entre las corrientes de combinación i_{12} e i_{012} de las corrientes simétricas de secuencia i_0 , i_1 e i_2 de cada uno de los extremos de la línea (204) de transmisión;
- aplicar un procedimiento de inferencia difusa a las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} , que emite una variable "y" cuyo valor se calcula de acuerdo con los valores de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} ;
- 10 - calcular un valor de una señal de desconexión para el control de al menos un disyuntor (200.1a, 200.2a, 200.3a, 200.1b, 200.2b, 200.3b) dispuesto en la línea (204) de transmisión de acuerdo con los valores de la variable "y" y los valores de las corrientes de cada fase (204.1, 204.2, 204.3) en los extremos local y remoto de la línea (204) de transmisión protegida.

11.- El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, en el cual las corrientes de combinación i_{12} e i_{012} son tales que:

$$i_{12} = i_2 - k_{1g}i_1;$$

$$i_{012} = k_{2p}i_2 + k_{1g}(i_1 + i_0);$$

en donde $k_{1g} = k_{2p} = 0$ cuando la amplitud de corriente de cada fase es superior, o igual, a aproximadamente 1,5 por unidad en cualquier fase, y en otro caso siendo k_{1g} y k_{2p} números reales distintos a cero.

12.- El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 ó 11, en el cual el procedimiento de inferencia difusa comprende al menos las etapas de:

- una operación de fusificación que convierte los valores de las diferencias de fase φ_{12} y φ_{012} en variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$;
- 25 - una operación de inferencia sobre las variables difusas $\mu(\varphi_{12})$ y $\mu(\varphi_{012})$ de acuerdo con una base de reglas difusas para emitir unos conjuntos difusos finales $\mu(y)$;
- una operación de defusificación que convierte los conjuntos difusos finales $\mu(y)$ en la variable "y".

13.- El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, en el cual la operación de fusificación convierte la diferencia de fase φ_{12} en la variable difusa $\mu(\varphi_{12})$, de tal modo que:

- 30 - cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{12})$ será "Baja" con un valor igual a 1, y "Alta" con un valor igual a 0;
- cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 80° y 180° , $\mu(\varphi_{12})$ será "Baja" con un valor igual a 0, y "Alta" con un valor igual a 1;
- cuando el valor de φ_{12} esté incluido entre 75° y 80° , $\mu(\varphi_{12})$ será "Baja" con un valor igual a $1 - \frac{\varphi_{12} - 75}{5}$, y "Alta" con un valor igual a $\frac{\varphi_{12} - 75}{5}$.

14.- El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 ó 13, en el cual la operación de fusificación convierte la diferencia de fase φ_{012} en la variable difusa $\mu(\varphi_{012})$, de tal modo que:

- cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 0° y 75° , $\mu(\varphi_{012})$ será "Baja" con un valor igual a 1, y "Alta" con un valor igual a 0;
- 40 - cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 85° y 180° , $\mu(\varphi_{012})$ será "Baja" con un valor igual a 0, y "Alta" con un valor igual a 1;
- cuando el valor de φ_{012} esté incluido entre 75° y 85° , $\mu(\varphi_{012})$ será "Baja" con un valor igual a $1 - \frac{\varphi_{012} - 75}{10}$, y "Alta" con un valor igual a $\frac{\varphi_{012} - 75}{10}$.

15.- El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 14, en el cual la operación de inferencia se ejecuta de acuerdo con la siguiente base de reglas difusas:

Si φ_{012} es "Alta" Y φ_{12} es "Alta" ENTONCES "y" es "L";

Si φ_{012} es "Baja" Y φ_{12} es "Alta" O φ_{012} es "Alta" Y φ_{12} es "Baja" ENTONCES "y" es "M";

5 Si φ_{012} es "Baja" Y φ_{12} es "Baja" ENTONCES "y" es "H";

en donde "L", "M" y "H", que son simples, corresponden a los valores de salida 0, 1 y 2, respectivamente.

16.- El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 15, en el cual las funciones lógicas "Y" y "O" de la base de reglas difusas corresponden a los operadores "Producto" y "Máximo" respectivamente.

10 17.- El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 12 a 16, en el cual la operación de defusificación es un procedimiento de factor de ponderación, expresándose el valor "y" de salida resultante por:

$$y = \frac{\mu_L y_L + \mu_M y_M + \mu_H y_H}{\mu_L + \mu_M + \mu_H}$$

en donde

$\mu_L = 1$ cuando $y = 0$, y $\mu_L = 0$ en otro caso;

$\mu_M = 1$ cuando $y = 1$, y $\mu_M = 0$ en otro caso;

15 $\mu_H = 1$ cuando $y = 2$, y $\mu_H = 0$ en otro caso.

18.- El procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 10 a 17, en el cual los valores de los porcentajes de polarización k_1 y k_2 de una característica estabilizada, que corresponde con la señal de desconexión, se calculan de tal modo que:

$k_1 = 0,3 + 0,8y$ cuando el parámetro "y" sea superior a aproximadamente 1,5, y $k_1 = 0,3$ en otro caso;

20 $k_2 = 1,5 + 1,6y$;

siendo las condiciones de desconexión del disyuntor (200.1a, 200.2a, 200.3a, 200.1b, 200.2b, 200.3b) :

para $|i_{\text{polarización}}| < I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{\text{diferencial}}| > k_1 |i_{\text{polarización}}| + I_{S1}$;

para $|i_{\text{polarización}}| > I_{S2}$, desconectar cuando $|i_{\text{diferencial}}| > k_2 |i_{\text{polarización}}| - (k_2 - k_1) I_{S2} + I_{S1}$;

en donde, para cada fase (204.1, 204.2, 204.3) de la línea (204) de transmisión:

25 $|i_{\text{polarización}}| = 0,5 (|i_s| + |i_r|)$

y

$$|i_{\text{diferencial}}| = |i_s + i_r|,$$

en donde

i_s : corriente en el extremo local de la línea (204) de transmisión protegida;

30 i_r : corriente en el extremo remoto de la línea (204) de transmisión protegida;

I_{S1} , I_{S2} : números reales positivos distintos a cero.

19.- Un sistema (1000) de protección de corriente diferencial que comprende al menos dos relés (100a, 100b) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, estando acoplado cada uno de los mismos a un extremo de una línea (204) de transmisión y enlazados entre sí con un medio de comunicación.

35

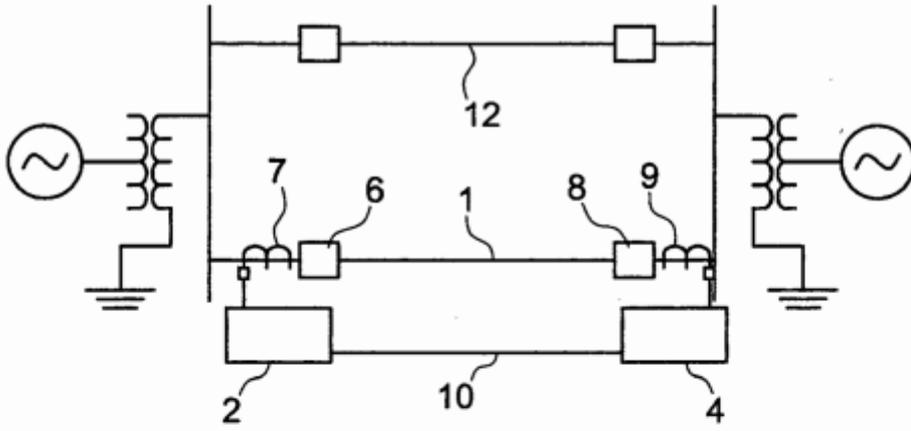


FIG. 1

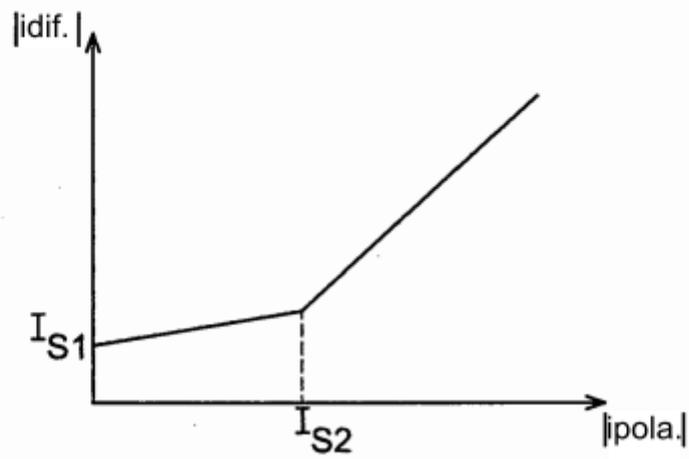


FIG. 2

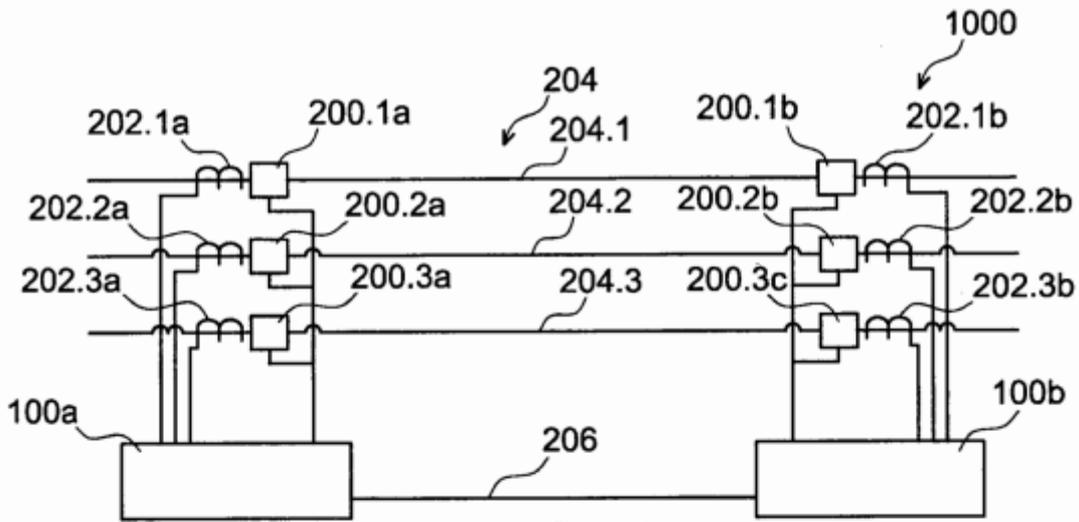


FIG. 3

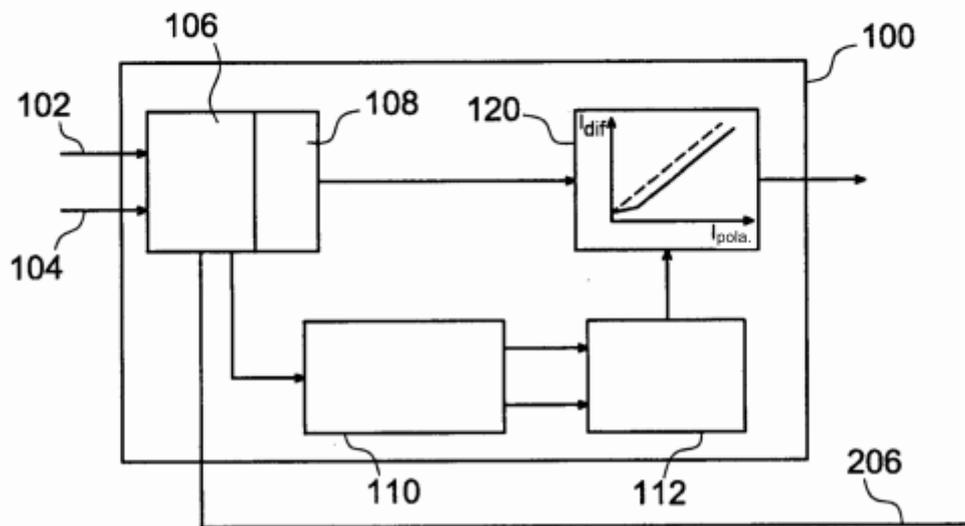


FIG. 4

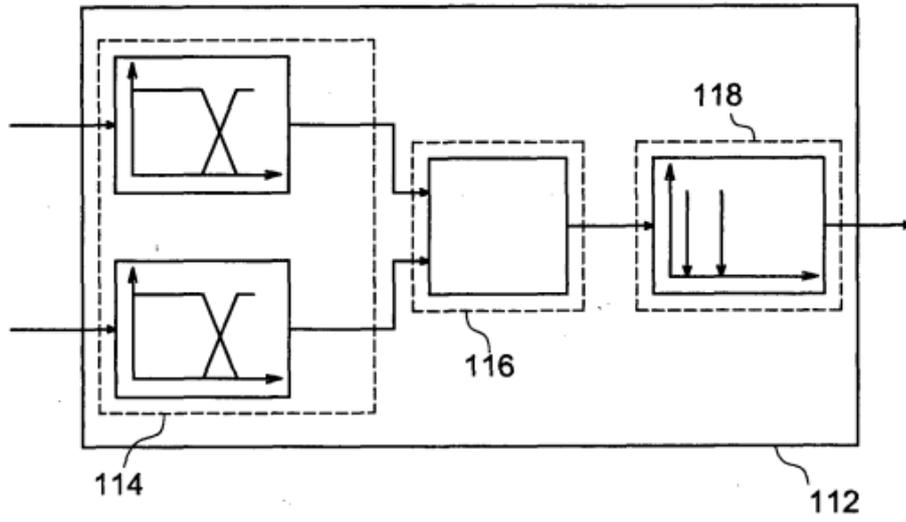


FIG. 5

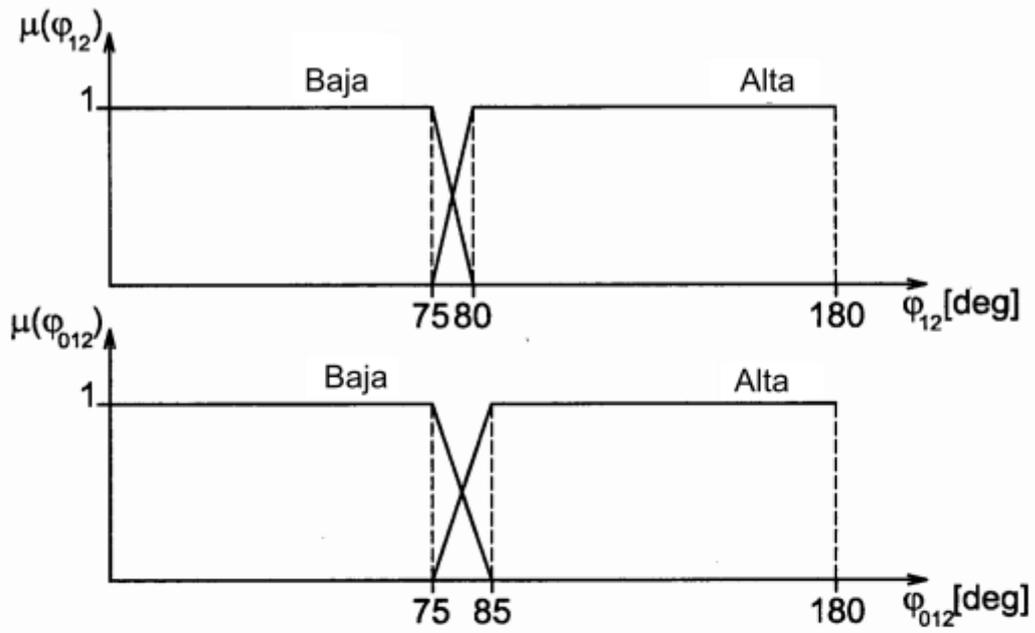


FIG. 6

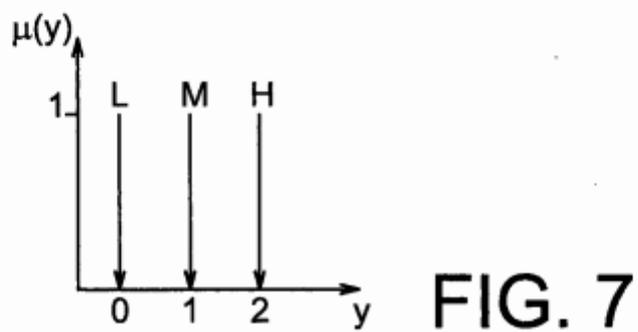


FIG. 7