

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 646 013**

51 Int. Cl.:

H02H 3/40 (2006.01)

H02H 3/46 (2006.01)

G01R 19/00 (2006.01)

G01R 27/08 (2006.01)

G01R 27/16 (2006.01)

H02H 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2014** **E 14000533 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017** **EP 2908397**

54 Título: **Procedimiento para la protección de una red de distribución eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.12.2017

73 Titular/es:

NSE AG (100.0%)
Bremgarterstrasse 54
5610 Wohlen, CH

72 Inventor/es:

FROMM, WILHELM

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 646 013 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la protección de una red de distribución eléctrica

Ámbito de la invención

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para la protección de una red distribución eléctrica, a un dispositivo correspondiente para la protección de una red de distribución y a un programa informático según las respectivas reivindicaciones independientes.

Antecedentes

- 10 Los sistemas de protección, medición y control para redes de energía eléctrica accionadas con tensión alterna ya se conocen. Éstos evalúan por lo general los componentes de señal con una frecuencia nominal f_N , por ejemplo, de 50 Hz o 60 Hz. Dichos sistemas deben detectar especialmente cortocircuitos en una red de distribución. Con este objetivo se utilizan redes de media y alta tensión, por ejemplo, aparatos de protección de distancia o aparatos de protección de sobrecorriente. En caso de un fallo, por ejemplo, cortocircuito o defecto a tierra, se desconecta el interruptor automático correspondiente y el segmento de red defectuoso se separa de la red de distribución restante.

- 15 La evaluación de las señales con una frecuencia de red $f \approx f_N$ es obvia, ya que son generadas por la fuente de alimentación y suelen ser intensas, al contrario que en otros componentes de frecuencia que a menudo sólo se producen en casos de avería determinados y a menudo también sólo de forma transitoria.

- 20 Por consiguiente, normalmente se miden las corrientes de frecuencia nominal y las tensiones, pudiéndose determinar a partir de éstas los correspondientes indicadores complejos. Con los indicadores complejos de tensión y de corriente se puede determinar el indicador de impedancia que se utiliza para la protección de distancia.

- 25 Con la protección de distancia se evalúa el indicador de impedancia. En el caso de relés de protección digitales correspondientes es posible registrar por separado la parte real y la parte imaginaria del indicador de impedancia, con lo que se puede tener en cuenta la influencia de las cargas en el comportamiento de activación de la protección. En caso de un cortocircuito en una línea de la red de alta o media tensión, el flujo de corriente en la línea en cuestión aumenta y la tensión baja. Esto corresponde a una reducción de la impedancia, cuyo valor se utiliza como medida para la activación de la protección. Se asigna un tiempo de activación a un rango de impedancia, de manera que haya varios tiempos de activación escalonados. De este modo es posible ajustar la desconexión de la sección de la línea en cuestión en dependencia de la distancia del fallo (cortocircuito, defecto a tierra), pudiéndose reconocer también la dirección del fallo (antes del punto de medición o después del punto de medición). Así, los fallos próximos al punto de medición, por ejemplo, se desconectan más rápidamente que los puntos más alejados. Por lo tanto, en caso de fallos próximos, la impedancia determinada es comparativamente baja (la impedancia depende fundamentalmente del tramo entre línea y fallo). Mediante el uso de varios dispositivos de protección de distancia es posible habilitar una desconexión rápida para cada punto de fallo, para lo que se utiliza el dispositivo de protección de distancia respectivamente siguiente. Si la desconexión no se produce correctamente, un dispositivo de protección de distancia más alejado puede intervenir conforme a un tiempo de activación correspondientemente más largo (mayor impedancia), lo que se denomina protección de reserva.

- 40 Evidentemente se desea una desconexión rápida de un fallo, a fin de reducir los daños en los componentes de red a un mínimo. Otro criterio decisivo para un dispositivo de protección de este tipo consiste en una buena selectividad o, dicho con otras palabras, la precisión en la detección de fallos. Cuanto más preciso es el dispositivo, mejor se pueden evitar las sobrefunciones, es decir, la identificación de un fallo cuando éste no se ha producido.

- La norma IEC 60255-121 define las directrices para la evaluación de la calidad de dispositivos de protección de distancia. Estas directrices se reflejan en una serie de escenarios de ensayo con parámetros variados. Como ejemplo de estos parámetros se nombra el valor SIR que describe una clasificación de la longitud de la línea y se define en la norma IEC 60255.121.

- 45 Una prueba especialmente importante para la calidad del dispositivo de protección de distancia se describe en los capítulos 6.3.2 y 6.3.4 de la norma y tiene como objetivo la dinámica del dispositivo a probar con respecto al tiempo de reacción típico y a la "transient overreach". Esta prueba trata uno de los problemas en el diseño de dispositivos de protección de distancia: el offset DC de la corriente en caso de fallo. Normalmente una corriente de falla presenta un componente de offset DC o de corriente continua adicionalmente al componente de corriente alterna de frecuencia nominal. Dado que el componente de corriente continua disminuye con el tiempo, la relación entre los dos componentes de corriente depende del momento en el que se produjo el fallo en la línea. El índice de reducción del componente de corriente continua depende, por su parte, de la impedancia de la línea. El componente de corriente continua puede influir en la evaluación de un fallo y provocar que la protección de distancia no funcione en algunas situaciones.

- 55 Boris Bastigkeit y Andreas Biermath (Boris Bastigkeit, Andreas Biermath: Evaluation of Distance Protection Performance According to the Proposed Standard IEC 60255-121, International Protection Testing Symposium (IPTs) 2010, Salzburgo, Austria) llevaron a cabo una evaluación de las soluciones existentes para dispositivos de

protección de distancia en el sentido de la prueba mencionada. La prueba ha demostrado que los dispositivos de protección de distancia disponibles presentan una alta precisión aunque un tiempo de reacción lento o viceversa.

Representación de la invención

5 La tarea de la invención consiste, por lo tanto, en la mejora de las soluciones existentes en el campo de la detección de fallos en redes de distribución de corriente con respecto a su precisión y tiempo de reacción.

Esta tarea se resuelve con un procedimiento según la reivindicación 1. Por consiguiente se propone un procedimiento para la protección de una red de distribución eléctrica en caso de fallo que comprende los siguientes pasos:

- a) medición de al menos una señal eléctrica periódica de la red de distribución,
- 10 b) determinación de partes reales y partes imaginarias del primer y del segundo armónico mediante la transformación de la señal periódica en la gama de frecuencia,
- c) formación de coeficientes de filtro modificados al menos para una parte imaginaria modificada de la señal periódica transformada mediante la combinación de los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del primer y del segundo armónico, combinándose los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del primer y del segundo armónico para formar los coeficientes modificados, de manera que los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del segundo armónico se multipliquen por un factor y, a continuación, se resten de los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del primer armónico y, a continuación, bien
- 15 d1) comprobación para cada valor de exploración a fin de determinar si la parte imaginaria modificada tiene el mismo signo que la parte imaginaria del primer armónico y si el valor de la parte imaginaria modificada es mayor que el valor de la parte imaginaria del primer armónico,
- e1) determinación de una parte imaginaria de salida igual a la parte imaginaria modificada si se cumplen las condiciones del paso d1) o determinación de la parte imaginaria de salida igual a la parte imaginaria del primer armónico si no se cumplen las condiciones del paso d1),
- f1) determinación de una impedancia de línea (Z_L) con ayuda de la parte imaginaria de salida, o bien
- 25 d2) determinación de una primera impedancia utilizando el primer armónico,
- e2) determinación de una segunda impedancia utilizando la parte imaginaria modificada,
- f2) selección como impedancia de línea de la impedancia menor a partir de la primera y de la segunda impedancia o de la impedancia con una parte imaginaria menor a partir de la primera y de la segunda impedancia, y a continuación
- 30 g) comparación de la impedancia de línea con al menos un valor preestablecido y
- h) emisión de una señal de control para un componente de interrupción de la red de distribución si la impedancia de línea es menor que el al menos un valor preestablecido.

Preferiblemente como señal eléctrica periódica se mide una corriente de línea o una tensión de línea de la red de distribución. Sin embargo, también es posible medir dos señales eléctricas periódicas, una corriente de línea y una tensión de línea de la red de distribución y utilizar ambas como base del procedimiento según la invención. La señal eléctrica periódica o las señales eléctricas periódicas se evalúa o evalúan preferiblemente con la frecuencia nominal de la red de distribución.

Con preferencia el fallo de la red de distribución observado pertenece a uno de los tipos de fallo: cortocircuito, defecto a tierra, sobrecorriente.

40 En otra forma de realización, la comprobación para cada valor de exploración, a fin de determinar si la parte imaginaria modificada tiene el mismo signo que la parte imaginaria del primer armónico y si el valor de la parte imaginaria modificada es mayor que el valor de la parte imaginaria del primer armónico, se realiza con un retardo de tiempo regulable.

45 En otra forma de realización, el paso h) se lleva a cabo inmediatamente después del paso g) o con un retardo de tiempo.

Alternativamente a la comparación con al menos un valor preestablecido también se puede comparar el paso g) con un conjunto o con varios conjuntos de valores preestablecidos. Esto tiene la ventaja de que se pueden examinar varios rangos de impedancia, de manera que la medida de protección se pueda clasificar como medida inmediata o de reserva (compárese arriba).

50 La tarea se resuelve además por medio de un dispositivo de protección correspondiente según la reivindicación independiente del dispositivo 11.

Finalmente la tarea se resuelve por medio de un programa informático que consiste en un conjunto de instrucciones para la implementación del procedimiento según la invención. El programa informático se puede ejecutar especialmente por medio de un dispositivo de protección según la invención.

El dispositivo de protección según la invención se utiliza preferiblemente para la protección de distancia o la protección de sobrecorriente de redes de distribución eléctrica.

Las ventajas del procedimiento y del dispositivo según la invención consisten en la puesta a disposición de una posibilidad de medición, evaluación y control con un tiempo de reacción rápido y resultados precisos. En este caso es posible elegir entre las dos posibilidades de cálculo alternativas. En base a la formación de una parte imaginaria modificada de la señal periódica transformada, bien se puede llevar a cabo en primer lugar una selección de la parte imaginaria adecuada de la señal periódica transformada y calcular sobre esta base una impedancia de salida, o bien se pueden calcular en primer lugar dos impedancias de salida y a partir de estas dos impedancias de salida realizar la selección apropiada. Ambas alternativas dan lugar a resultados similares y mejoran una red de distribución eléctrica para una protección más eficaz contra cortocircuitos, defectos a tierra, etc.

Breve descripción de los dibujos

Otras configuraciones, ventajas y aplicaciones de la invención resultan de las reivindicaciones dependientes y de la siguiente descripción por medio de las figuras. Se muestra en la:

Figura 1 una estructura muy simplificada de una red de distribución de corriente,

Figura 2 un diagrama de bloque del procesamiento de señal de un dispositivo de protección según la invención,

Figura 3 un diagrama de impedancia a modo de ejemplo para una línea de una longitud determinada,

Figura 4 diagramas con coeficientes de los filtros digitales utilizados para la determinación de un componente de señal de frecuencia nominal (izquierda), las respuestas de frecuencia de amplitud correspondientes (centro) y los elementos exponenciales filtrados (derecha),

Figura 5 valores reales de una corriente de cortocircuito basados en el primer y en el segundo armónico (arriba) y los fallos resultantes para el primer armónico como consecuencia del componente de corriente continua decreciente (inferior),

Figura 6 una trayectoria de una impedancia determinada según el estado de la técnica, y

Figura 7 una trayectoria de una impedancia determinada según la invención.

Vías para la realización de la invención

A continuación se explica más detalladamente la primera alternativa de cálculo. La segunda alternativa, es decir, la determinación de dos impedancias y la elección de la impedancia adecuada, se describe sólo brevemente en relación con la figura 7, dado que también se basa en los cálculos relacionados con la magnitud temporal periódica.

La figura 1 muestra una estructura muy simplificada de una red de distribución eléctrica accionada con tensión alterna con un dispositivo de protección, medición y control 1. El dispositivo de protección, medición y control 1 según la invención, en adelante denominado dispositivo de protección 1, evalúa al menos un componente de señal de frecuencia nominal (corriente, tensión) de la red.

Para las siguientes consideraciones se parte de una frecuencia de red de $f_N = 50$ Hz. No obstante, también se pueden utilizar otras frecuencias de red, especialmente $f_N = 60$ Hz. Además, por razones de simplificación, las consideraciones sólo se llevan a cabo para el cálculo de la corriente.

En el lado primario \underline{E} , un generador G acciona la red a través de una fuente de corriente que aquí se representa con una línea 3 a modo de ejemplo y un consumidor de energía 4 conectado a la misma. En la línea se intercala un interruptor automático 2 que sirve para interrumpir o recibir la alimentación eléctrica de la línea 3. Los interruptores de potencia de este tipo se conocen y, por consiguiente, no se explican aquí con mayor detalle. El interruptor automático 2 posee elementos para la recepción de una orden de conexión A, a fin de conectar la red de distribución al lado primario E, y para recibir una orden de desconexión B. El dispositivo de protección 1 emite la orden de desconexión B en caso de que se produzca un fallo en la línea 3, por ejemplo, un cortocircuito o un defecto a tierra K. Para la detección del fallo K, el dispositivo de protección 1 utiliza la tensión de línea $u(t)$ y la corriente de línea $i(t)$ de la línea 3 proporcionada por un transformador principal de la red de distribución en forma de magnitudes secundarias $u_s(t)$ e $i_s(t)$. Tomando como base esta medición, el dispositivo de protección 1 determina los componentes de señal de frecuencia nominal y, por lo tanto, la impedancia de la línea 3. Estos cálculos sirven para que el dispositivo de protección decida la existencia o no de un fallo K y se explicarán más detalladamente en la siguiente descripción. En caso de existir un fallo K, el dispositivo de protección 1 envía la orden de desconexión B al interruptor automático 2, a fin de desacoplar de la red la línea en cuestión o la sección de línea en cuestión.

La figura 2 muestra un diagrama de bloque del dispositivo de protección 1 según la invención con las estaciones del procesamiento de señal en el ejemplo de la corriente de magnitud secundaria. La corriente de línea $i_s(t)$ se aporta a un convertidor de entrada 5, atraviesa un filtro antialiasing 6 para atenuar los componentes de alta frecuencia y a continuación se codifica en valores digitales i_N a través de un elemento de exploración y parada 7 por medio de un convertidor analógico/digital 8. Los valores de corriente discretos i_N así preparados se envían a un procesador de señales 9 para el posterior procesamiento de señal. En caso de detectarse un fallo K, el procesador de señales 9 emite finalmente una señal de control B (orden de desconexión) para el interruptor automático 2. El procesador de

señales se utiliza preferiblemente para ejecutar el programa informático según la invención y para realizar todos los cálculos necesarios para la determinación de la impedancia de acuerdo con el procedimiento según la invención.

La figura 3 muestra un diagrama de impedancia a modo de ejemplo para la línea 3 con impedancia Z_L . El vector de impedancia (representado con la flecha) resulta de una manera conocida de la parte real R y de la parte imaginaria X con $Z = R + jX$. En el diagrama se representan los rangos de impedancia típicos que pueden producirse en casos de funcionamiento o de fallo determinados. El rango c1 es típico para la impedancia del consumidor de energía 4 con una potencia activa en dirección de la línea. El rango c2 representa una zona de activación de una primera fase; si la impedancia Z_L determinada se encuentra en este rango, se envía una señal de desconexión B al interruptor automático 2. Esta zona tiene en cuenta los fallos que han tenido lugar en las proximidades del punto de medición del dispositivo de protección 1 y que éste puede desactivar rápidamente. El rango c3 representa una zona de activación para los fallos que se encuentran más alejados del punto de medición del dispositivo de protección 1 y que deben considerarse como una protección de reserva si un dispositivo de protección próximo al fallo no puede llevar a cabo una desconexión. Por último, el rango c4 representa un fallo en dirección inversa.

La figura 4 muestra en la columna izquierda diagramas con valores de coeficientes de los filtros digitales utilizados como función de puntos de tiempo discretos para la determinación del componente de señal de frecuencia nominal de la corriente. En la columna central se representan las respuestas de frecuencia de amplitud correspondientes (normalizado a la magnitud de la frecuencia que el respectivo filtro debe, sobre todo, evaluar, es decir, 50 Hz, 100 Hz o 0 Hz), y en la columna derecha correspondientemente los elementos exponenciales filtrados. Los diagramas de cada fila pertenecen al mismo grupo.

La primera y la segunda fila se representan conforme al estado de la técnica, mientras que las líneas 3 a 6 representan diagramas según la invención. A continuación se describen las causas de los coeficientes mostrados.

Se conoce la posibilidad de determinar las magnitudes del indicador de una señal periódica y continua en el tiempo por medio de una síntesis de Fourier, pudiéndose calcular las amplitudes y el ángulo de fase. Mediante las magnitudes complejas para corriente y tensión es posible calcular, por ejemplo, la impedancia Z_L de la figura 2, lo que se describe más detalladamente en relación con las figuras 6 y 7.

Las magnitudes del indicador complejas también pueden determinarse digitalmente, lo que es igualmente conocido, denominándose la realización práctica filtro numérico de Fourier. Con esta finalidad, la síntesis de Fourier se convierte en una síntesis de Fourier discreta, es decir, se sustituye la integración por una adición. Los sumandos en cada instante de exploración $n \cdot \Delta t$ resultan del producto del valor de exploración $i(t)$ y de los factores de peso $b_{Re, k}$ o $b_{Im, k}$, que en la realización práctica se denominan coeficientes de filtro y que, como se ha mencionado antes, se representan en la columna izquierda de la figura 4. Un filtro como éste se caracteriza por las siguientes sumas:

$$Re\{I\} = \sum_{k=0}^p b_{Re,k} \cdot i_{n-k}$$

$$Im\{I\} = \sum_{k=0}^p b_{Im,k} \cdot i_{n-k}$$

En este caso, $Re\{I\}$ e $Im\{I\}$ se refieren a la parte real o la parte imaginaria del indicador de corriente complejo I y p al número de exploraciones por período. Los factores de peso $b_{Re, k}$ y $b_{Im, k}$ son valores constantes que corresponden a los valores de senos o cosenos de la función de tiempo en el momento $k \cdot \Delta t$. En este documento, los coeficientes de filtro se expresan en principio indirectamente por medio de las denominaciones I1, I1D, I1A, que corresponden a la parte izquierda de las ecuaciones de arriba o que se crean mediante comparaciones de magnitudes de corriente complejas. Además, las denominaciones anteriores se refieren a las partes imaginarias de la magnitud respectiva siempre que no se indique lo contrario.

Las observaciones a modo de ejemplo del procesamiento digital de señales se basan en un índice de exploración de 1 kHz, es decir, $p=20$ (20 exploraciones/período).

La figura 5 muestra los valores efectivos de una corriente de cortocircuito en base al primer y al segundo armónico (arriba) y los errores resultantes para el primer armónico a través del componente de corriente continua decreciente (abajo) como función del tiempo en segundos. En los dos diagramas:

- $i(t)$ se refiere a la corriente de línea periódica medida,
- I1 se refiere al primer armónico de la corriente de línea periódica,
- I1D se refiere al desarrollo del primer armónico con coeficientes de filtro modificados,
- I1A se refiere al desarrollo del primer armónico después de la comprobación según el paso d1) del procedimiento según la invención, e
- I2 se refiere al segundo armónico de la corriente de línea periódica.

Como se puede ver en la figura 5, el error de mayor magnitud se reduce aproximadamente de un 12,9% a aproximadamente un 1,5% gracias a la primera medida de mejora con I1D (coeficientes de filtro modificados mediante la combinación de los coeficientes de filtro del primer y del segundo armónico). Como ya se ha mencionado antes, los resultados se representan sobre la base de una frecuencia de red de 50 Hz, aunque también hay disponibles mejoras de precisión comparables con otras frecuencias de red.

La evaluación según el estado de la técnica mediante el uso de un filtro de Fourier para el primer armónico tiene el inconveniente de que provoca un error considerable en componentes de corriente continua decrecientes. Por este motivo no es lo suficientemente fiable para una detección rápida de errores, dado que, como se puede ver en la figura 5 (arriba) (compárese la característica de amplitud de la corriente de cortocircuito $i(t)$, por ejemplo, hasta 0,03s aproximadamente), el componente de corriente continua decreciente tiene la máxima influencia en el transcurso de la corriente de cortocircuito inmediatamente después de producirse el cortocircuito. Como consecuencia (compárese también los resultados de la evaluación del documento citado en el capítulo "Antecedentes"), la exactitud se ve mermada en evaluaciones rápidas según este procedimiento conocido. Como se puede ver además en la figura 5, la influencia del componente de corriente continua decreciente disminuye cada vez más con el tiempo (compárese la característica de amplitud a partir de 0,03s), de manera que la evaluación es cada vez más precisa según el procedimiento conocido. El resultado (se hace de nuevo referencia al documento citado) son mediciones precisas aunque con un largo tiempo de reacción. En resumen se puede decir que un dispositivo de protección que reacciona rápidamente según el estado de la técnica se caracteriza por sobrefunciones o subfunciones ocasionales, mientras que un dispositivo conocido que evalúa con precisión sólo puede corregir el fallo tarde, habiéndose mencionado ya los efectos de estos inconvenientes para cada una de estas dos alternativas.

Por el contrario, un filtrado correspondiente con I1D (coeficientes de filtro modificados) puede reducir claramente el fallo, como se ha mencionado antes. Los coeficientes de filtro modificados se forman al menos para una parte imaginaria modificada de la señal periódica transformada mediante la combinación de los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del primer y del segundo armónico. La combinación consiste preferiblemente en multiplicar los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del segundo armónico por un factor y a continuación restarlos de los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del primer armónico. El factor se elige de manera que se elimine la influencia del segundo armónico en la medida deseada. Para el dimensionamiento del filtro mostrado en la figura 4 resulta un factor de 2 con una eliminación completa. Por consiguiente, los factores razonables se encuentran en el rango de 0 a 2, en función de la medida en la que deba eliminarse el componente del segundo armónico. Preferiblemente el factor es de 1,9.

Otra mejora, especialmente con respecto a la sensibilidad en caso de perturbaciones de frecuencias más altas, de diferentes procesos de compensación, así como en caso de desviaciones de frecuencia del valor nominal, se consigue mediante la comparación de los valores de la parte imaginaria I1 del primer armónico con los valores determinados con I1D según los coeficientes de filtro modificados. Con un filtrado adaptivo como éste con I1A se pretende que, por una parte, no exista ningún valor de medición menor que el mayor de I1 e I1D, de manera que se eviten en gran medida las subfunciones y, por otra parte, que no haya ningún valor de medición superior a I1 o I1D, de modo que no se pueda producir ninguna sobrefunción mayor que sin el filtrado adaptivo. Con otras palabras, en caso de duda la medición debe tender hacia un valor de corriente más alto. La medición de un valor de corriente demasiado alto no debe durar más de medio período (con frecuencia nominal).

Para ello se utiliza un filtro adaptivo que funciona de la siguiente manera en cada instante de la exploración:

Si I1D presenta el mismo signo que I1 y es mayor que I1, se elige como valor de salida I1A = I1D.

En todos los demás casos se aplica I1A = I1. Aquí I1A corresponde a la parte imaginaria de salida antes citada.

En la figura 5 también se representan los resultados del filtrado adaptivo con I1A: nunca se producen valores menores a I1D, sino sólo parcialmente mayores o demasiado grandes. No obstante, los valores demasiado grandes sólo se producen de forma relativamente breve, concretamente como máximo durante medio período de oscilación fundamental (10 ms), de manera que su influencia pueda compensarse por medio de un retardo de tiempo definible. Por consiguiente, este retardo de tiempo ajustable se elige menor o igual a medio período de una oscilación fundamental de la señal eléctrica periódica o de las señales eléctricas periódicas. El mismo es preferiblemente de 10 ms con la frecuencia nominal aquí supuesta.

Los resultados anteriores deben considerarse resultados intermedios, a fin de, a partir de los valores de corriente y de tensión, calcular la impedancia de línea que sirve en última instancia como criterio para la protección de distancia. La determinación de la impedancia se explica a continuación.

La figura 6 muestra una trayectoria de una impedancia determinada para la protección de distancia según el estado de la técnica. En el caso de la protección de distancia es importante la ubicación de un fallo (por ejemplo, un cortocircuito), dicho con otras palabras, la distancia entre el punto de medición del dispositivo de protección de distancia y el fallo. Como se ha explicado antes, la determinación de la ubicación permite la mejor estrategia de desconexión de la zona de línea en cuestión. Como ya se ha mencionado, la impedancia se puede determinar como $Z = U/I$. En este caso, por medio de la corriente se ha descrito anteriormente cómo la determinación de las magnitudes complejas se realiza mediante el cálculo del primer armónico. En la figura 6 se representa un diagrama resultante según el ejemplo general de la figura 3. En este ejemplo se analiza la protección de distancia en una red de alta tensión conectada directamente a tierra. En este tipo de cortocircuito es preciso tener en cuenta el factor de

impedancia de tierra, el cual se conoce y, por lo tanto, no se explica más detalladamente. En caso de $t=40$ ms se produce en un cable de derivación un cortocircuito de tierra L1 que este primer dispositivo de protección de distancia debe solucionar mediante la desconexión de la línea. La primera zona de protección de distancia abarca el 80 por ciento de la línea a proteger y la ubicación del fallo está en el 95 por ciento de la zona a proteger, es decir, relativamente cerca del límite de fase. Se denomina límite de fase al límite entre dos rangos de impedancia (compárense la figura 3 y la descripción correspondiente). Por este motivo se eligió aquí como ejemplo un fallo próximo al límite de fase, dado que en esta zona la precisión de medición es especialmente importante. Si la comprobación de la impedancia revela que el fallo se encuentra en el rango c2 (compárense figura 3), esto correspondería a una desconexión inmediata a través del primer dispositivo de protección de distancia. Si, por el contrario, el fallo se encuentra en el rango c3, el primer dispositivo de protección de distancia sólo realizaría una desconexión con retardo en caso de que la desconexión no hubiese sido realizada por otro dispositivo de protección de distancia (en el que la impedancia medida por el mismo se encuentra dentro de su propio rango c2).

En la figura 6, el límite entre la primera y la segunda zona de impedancia c2, c3 (de acuerdo con los rangos en la figura 3) se han identificado con la letra G. La protección de distancia evalúa realmente los puntos de impedancia rodeados con un pequeño círculo después de que la excitación para la línea haya respondido una vez transcurrido un breve retardo de tiempo. La ubicación del fallo se resalta en la figura 6 en la línea de impedancia por medio del círculo F. Se puede ver que la protección no puede dar en primer lugar ninguna orden de activación estable, dado que la medición no es estable en el rango de la primera zona de impedancia c2. Dado que un propio interruptor automático a controlar por medio del dispositivo de protección de distancia requiere un tiempo de, por ejemplo, 50 ms, hasta la interrupción de la corriente, ya no es posible una desconexión en el intervalo de tiempo requerido. En un caso ideal, 20 ms después del inicio del fallo habría disponible un punto de medición estable de acuerdo con la impedancia de cortocircuito. Antes del inicio de un cortocircuito, la impedancia correspondería aproximadamente a la impedancia de carga (por ejemplo, en el orden de magnitud de 100 ohmios), mientras que en los 20 ms después de producirse el fallo se puede observar una transición a la impedancia de cortocircuito. En la trayectoria aquí mostrada, cada valor de exploración (en la cuadrícula de tiempo 1ms) se identifica con un punto y cada 10 ms el tiempo en ms se complementa en el punto.

Como se puede deducir de la trayectoria, el motivo para la activación retardada es el desarrollo en forma de espiral del indicador de impedancia complejo (Z_L de la figura 3), de manera que el indicador salga de nuevo varias veces del área de activación c2. El desarrollo en forma de espiral procede a su vez de la influencia de la corriente continua decreciente en el componente de filtro $\text{Im}\{I_1\}$. Incluso si, en muchos casos típicos, la protección de distancia descrita funciona perfectamente según el estado de la técnica, se desea que un dispositivo de protección de distancia pueda controlar casos críticos como el fallo próximo al límite de fase con el ángulo de entrada de fallo correspondiente, etc. sin sobrefunción y sin subfunción.

Como se ha descrito anteriormente, la solución consiste en utilizar un filtrado mejorado basado en I1D e I1A, siendo posible un cálculo preciso y rápido de la impedancia. Los resultados con respecto a la medición de impedancia sobre la base del concepto según la presente invención se explican a continuación.

La figura 7 muestra una trayectoria de una impedancia determinada según el procedimiento de selección del paso d1) (I1A) de la primera alternativa de cálculo.

Como se puede ver en la figura, las impedancias medidas siempre se encuentran en el rango c2 y no rebasan nunca el límite de rango G. De este modo es posible una identificación fiable y rápida del fallo (aquí defecto a tierra). Por lo tanto, el procedimiento proporciona un criterio de activación estable y, al mismo tiempo, una progresión "uniforme" de los desarrollos de impedancia utilizando el filtrado de partes imaginarias adaptivas I1A.

Se obtiene una mejora adicional, especialmente con respecto a la minimización de sobrefunciones, gracias a que la condición de activación debe cumplirse durante al menos medio período (aproximadamente 10 ms) antes de que el dispositivo de protección de distancia emita una orden de desconexión correspondiente. Como consecuencia ya no se pueden esperar más sobrefunciones, dado que el componente causal del 2º armónico cada 10 ms da lugar a una tendencia opuesta, siendo, por consiguiente, el componente 11 "estable" de nuevo decisivo.

En el caso de la segunda alternativa de cálculo resulta respectivamente una trayectoria como la mostrada en la figura 7 para cada una de las dos impedancias determinadas Z_1 , Z_2 . La diferencia entre la primera y la segunda alternativa consiste en que en la primera alternativa se calculan en primer lugar dos partes imaginarias de la señal periódica transformada medida, determinándose sobre esta base una impedancia, mientras que en la segunda alternativa se determinan en primer lugar dos impedancias de las partes imaginarias de la señal periódica, eligiéndose una impedancia adecuada. En la segunda alternativa, la determinación de la impedancia se lleva a cabo con I1 e I1D, resultando la primera o la segunda impedancia Z_1 , Z_2 . Para una activación de la orden B, la impedancia tomada como base para la comprobación de la línea se puede derivar o seleccionar como sigue a partir de las dos impedancias Z_1 , Z_2 :

- Selección de la impedancia menor. Conforme a lo esperado, los resultados son los mismos que los de la evaluación de la primera alternativa con I1A (conforme a la relación $Z=U/I$ con la evaluación de los valores).
- Selección de la impedancia con la parte imaginaria menor (componente X).

Los ejemplos muestran que los métodos de selección conducen a menudo a resultados similares. No obstante, en función de las condiciones de la red también pueden producirse diferencias más claras, por ejemplo, dependiendo de la relación R/X de la línea a proteger.

5 En la segunda alternativa resultan trayectorias similares a las de la figura 7, variando naturalmente los valores según el uso de la impedancia menor o de la impedancia con la parte imaginaria menor.

10 La aplicación del filtrado de Fourier utilizando el algoritmo adaptivo I1A o el algoritmo Z1/Z2 proporciona siempre unas activaciones estables, evitando al mismo tiempo sobrefunciones cuando se tiene en cuenta un retardo interno de la orden de activación de un medio período de la frecuencia de red. Esto no sólo se aplica a los ejemplos mostrados, sino también a otros casos con configuraciones de red diferentes, tipos de fallos, condiciones de carga, etc.

Los tiempos máximos de activación previstos (tiempos de respuesta) pueden estimarse teniendo en cuenta los siguientes componentes:

filtro antialiasing y otros tiempos de ejecución en las señales de tensión y de corriente en el área de conversión analógica-digital: normalmente menor o aproximadamente igual a 1 ms (casi insignificante);

15 tiempo transitorio del filtrado de Fourier o de los filtros de Fourier adaptivos (I1, I1A): 20 ms;

retardo para evitar de forma segura sobrefunciones: 10 ms;

otros retardos (por ejemplo, retardos de tiempo internos, oscilación de las señales de tensión, tiempos de cálculo o tiempos de ejecución del software): por ejemplo 3 ms;

20 tiempos de respuesta de las señales de salida hasta el control del interruptor automático, por ejemplo, mediante contactos de relé: por ejemplo, 10 ms; dependen en gran medida de la ejecución del hardware y, por lo tanto, excluidos aquí.

Por consiguiente pueden esperarse tiempos de activación de la protección de distancia máximos de 34 ms aproximadamente (evitando los circuitos de activación). Este es un valor muy bueno, en combinación con la supresión segura de sobrefunciones, especialmente para los fallos directamente en el límite de fase.

25 Las mediciones y las simulaciones de acuerdo con las pruebas dinámicas de protección de distancia definidas en la norma IEC 60255-121 permiten una valoración en comparación con otros algoritmos de protección de distancia. En la evaluación del fabricante de sistemas de ensayo Omicron, citada al principio, las mediciones se comparan con varios relés de diferentes fabricantes. Los tiempos de respuesta de todos los relés varían considerablemente (mínimo 15 ms, en parte mucho más de 20 ms). Por otra parte pueden verse otros inconvenientes de los relés probados: en el relé (A) los tiempos de respuesta más largos son de más de 60 ms y en los otros relés (B y C) se producen sobrefunciones o subfunciones en los límites de fase (documentados indirectamente en los diagramas SIR).

35 El procedimiento según la invención y el dispositivo según la invención pueden utilizarse ventajosamente no sólo para la realización de una protección de distancia eficaz, sino también para la protección de sobrecorriente en la que es necesario evitar una subfunción (relativamente pequeña) como consecuencia de una corriente continua decreciente. El procedimiento también se puede utilizar de forma correspondiente en caso de una protección de un mínimo de corriente: el valor menor de I1 e I1D siempre se procesa posteriormente. Esto garantizaría que la protección de un mínimo de corriente no disminuya involuntariamente.

40 También sería posible una evaluación correspondiente de la parte imaginaria con I1A o Z1/Z2 para las tensiones. Sin embargo, en la red de distribución de energía los casos con componentes de corriente continua exponencialmente decrecientes son más bien raros y poco críticos. Por este motivo, en la determinación de la impedancia el filtrado con I1A sólo se aplica a las corrientes.

45 Mientras que en la presente solicitud se describen realizaciones preferidas de la invención, se hace claramente referencia a que la invención no se limita a éstas, pudiendo realizarse la misma también de otro modo dentro del ámbito de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la protección de una red de distribución eléctrica en caso de un fallo (K) que comprende los pasos:
 - 5 a) medición de al menos una señal eléctrica periódica ($i(t)$) de la red de distribución,
 - b) determinación de partes reales y partes imaginarias ($Re\{I_1\}$, $Im\{I_1\}$; $Re\{I_2\}$, $Im\{I_2\}$) del primer y del segundo armónico (I_1 , I_2) mediante la transformación de la señal periódica ($i(t)$) en la gama de frecuencia,
 - c) formación de coeficientes de filtro modificados al menos para una parte imaginaria modificada (I_{1D}) de la señal periódica transformada ($i(t)$) mediante la combinación de los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del primer y del segundo armónico (I_1 , I_2), combinándose los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del primer y del segundo armónico (I_1 , I_2) para formar los coeficientes modificados (I_{1D}), de manera que los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del segundo armónico (I_2) se multipliquen por un factor γ , a continuación, se resten de los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del primer armónico (I_1) y, a continuación, bien
 - 10 d1) comprobación para cada valor de exploración a fin de determinar si la parte imaginaria modificada (I_{1D}) tiene el mismo signo que la parte imaginaria del primer armónico (I_1) y si el valor de la parte imaginaria modificada (I_{1D}) es mayor que el valor de la parte imaginaria del primer armónico (I_1),
 - e1) determinación de una parte imaginaria de salida (I_{1A}) igual a la parte imaginaria modificada (I_{1D}) si se cumplen las condiciones del paso d1) o determinación de la parte imaginaria de salida (I_{1A}) igual a la parte imaginaria del primer armónico (I_1) si no se cumplen las condiciones del paso d1),
 - 20 f1) determinación de una impedancia de línea (Z_L) con ayuda de la parte imaginaria de salida (I_{1A}), o bien
 - d2) determinación de una primera impedancia (Z_1) utilizando el primer armónico (I_1),
 - e2) determinación de una segunda impedancia (Z_2) utilizando la parte imaginaria modificada (I_{1D}),
 - f2) selección como impedancia de línea (Z_L) de la impedancia menor a partir de la primera y de la segunda impedancia (Z_1 , Z_2) o de la impedancia con una parte imaginaria menor a partir de la primera y de la segunda impedancia (Z_1 , Z_2) y a continuación
 - 25 g) comparación de la impedancia de línea (Z_L) con al menos un valor preestablecido y
 - h) emisión de una señal de control (B) para un componente de interrupción (2) de la red de distribución si la impedancia de línea (Z_L) es menor que el al menos un valor preestablecido.
- 30 2. Procedimiento según la reivindicación 1, eligiéndose el factor de un rango de entre 0.5 y 2, siendo especialmente el factor de 1,9.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, midiéndose una corriente de línea ($i(t)$) o una tensión de línea ($u(t)$) de la red de distribución como señal eléctrica periódica.
 - 35 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 2, midiéndose dos señales eléctricas periódicas, una corriente de línea ($i(t)$) y una tensión de línea ($u(t)$) de la red de distribución.
 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, valorándose la señal eléctrica periódica ($i(t)$) o las señales eléctricas periódicas ($i(t)$), ($u(t)$) con una frecuencia nominal (f_N) de la red de distribución.
 - 40 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, comprobándose para cada valor de exploración con un retardo de tiempo regulable si la parte imaginaria modificada (I_{1D}) tiene el mismo signo que la parte imaginaria del primer armónico (I_1) y si el valor de la parte imaginaria modificada (I_{1D}) es mayor que el valor de la parte imaginaria del primer armónico (i_1).
 - 45 7. Procedimiento según la reivindicación 6, eligiéndose el retardo de tiempo regulable menor o igual a medio período de una oscilación fundamental de la señal eléctrica periódica ($i(t)$) o de las señales eléctricas periódicas ($i(t)$), ($u(t)$), ascendiendo especialmente el retardo de tiempo a 10 ms.
 - 50 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, realizándose la comparación del paso g) con un conjunto o con varios conjuntos de valores preestablecidos.
 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, realizándose el paso h) inmediatamente después del paso g) o con un retardo de tiempo.
 - 55 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, perteneciendo el fallo (K) a uno de los tipos de fallo: cortocircuito, defecto a tierra, sobrecorriente.

11. Dispositivo de protección para la realización del procedimiento para la protección de una red de distribución eléctrica en caso de un fallo (K) según una de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo
- 5 elementos para la medición de al menos la señal eléctrica periódica ($i(t)$) de la red de distribución,
- elementos para la determinación de partes reales y partes imaginarias ($\text{Re}\{I_1\}$, $\text{Im}\{I_1\}$; $\text{Re}\{I_2\}$, $\text{Im}\{I_2\}$) del primer y del segundo armónico mediante la transformación de la señal periódica ($i(t)$) en la gama de frecuencia,
- 10 elementos para la formación de los coeficientes de filtro modificados al menos para la parte imaginaria modificada (I1D) de la señal periódica transformada ($i(t)$) mediante la combinación de los coeficientes de filtro de la parte imaginaria del primer y del segundo armónico (I_1 , I_2),
- elementos para comprobar para cada valor de exploración si la parte imaginaria modificada (I1D) tiene el mismo signo que la parte imaginaria del primer armónico (I_1) y si el valor de la parte imaginaria modificada (I1D) es mayor que el valor de la parte imaginaria del primer armónico (I_1) y/o para determinar la primera y la segunda impedancia (Z_1 , Z_2) con ayuda del primer armónico (I_1) o con ayuda de la parte imaginaria modificada (I1D),
- 15 elementos para determinar la parte imaginaria de salida (I1A) igual a la parte imaginaria modificada (I1D) si se cumplen las condiciones del paso d1) o determinar la parte imaginaria de salida (I1A) igual a la parte imaginaria del primer armónico (I_1) si no se cumplen las condiciones del paso d1),
- elementos para la determinación de la impedancia de línea (Z_L) utilizando la parte imaginaria de salida (I1A) y/o para la determinación de la impedancia de línea (Z_L) igual a la impedancia menor o igual a la impedancia con una parte imaginaria menor a partir de la primera y de la segunda impedancia (Z_1 , Z_2),
- 20 elementos para la comparación de la impedancia de línea (Z_L) con al menos un valor preestablecido y para la emisión de una señal de control (B) para el componente de interrupción (2) de la red de distribución si la impedancia de línea (Z_L) es menor que el al menos un valor preestablecido.
12. Programa informático compuesto de un conjunto de instrucciones para la implementación del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, pudiéndose ejecutar especialmente el programa informático por medio de
- 25 un dispositivo de protección según la reivindicación 11.
13. Utilización del dispositivo de protección según la reivindicación 11 para la protección de distancia o la protección de sobrecorriente de redes de distribución eléctrica.

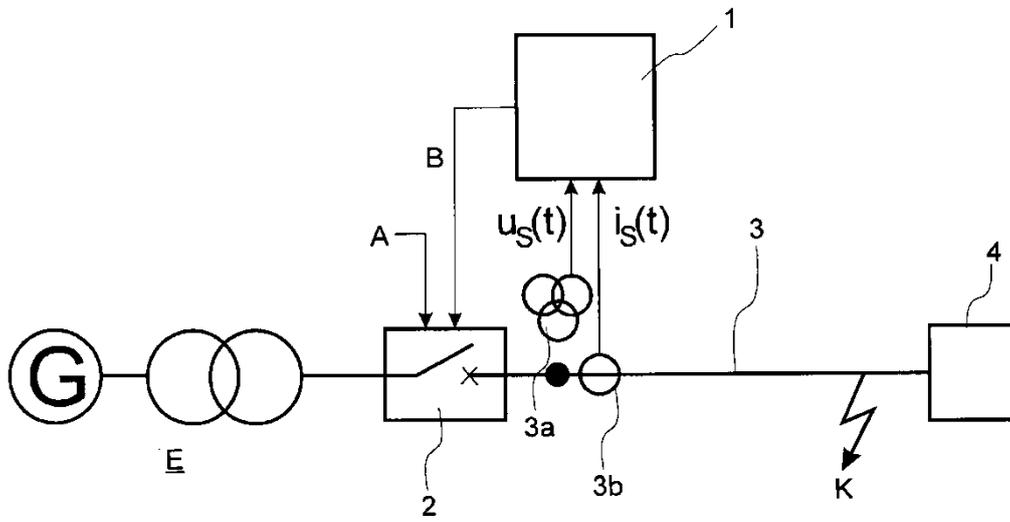


Fig. 1

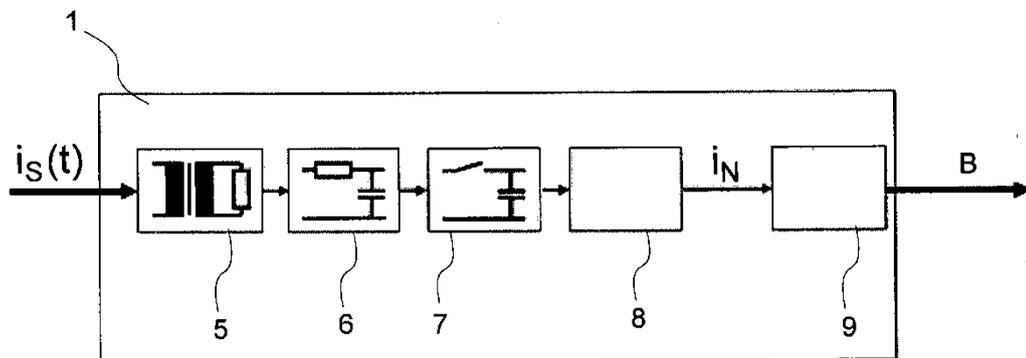


Fig. 2

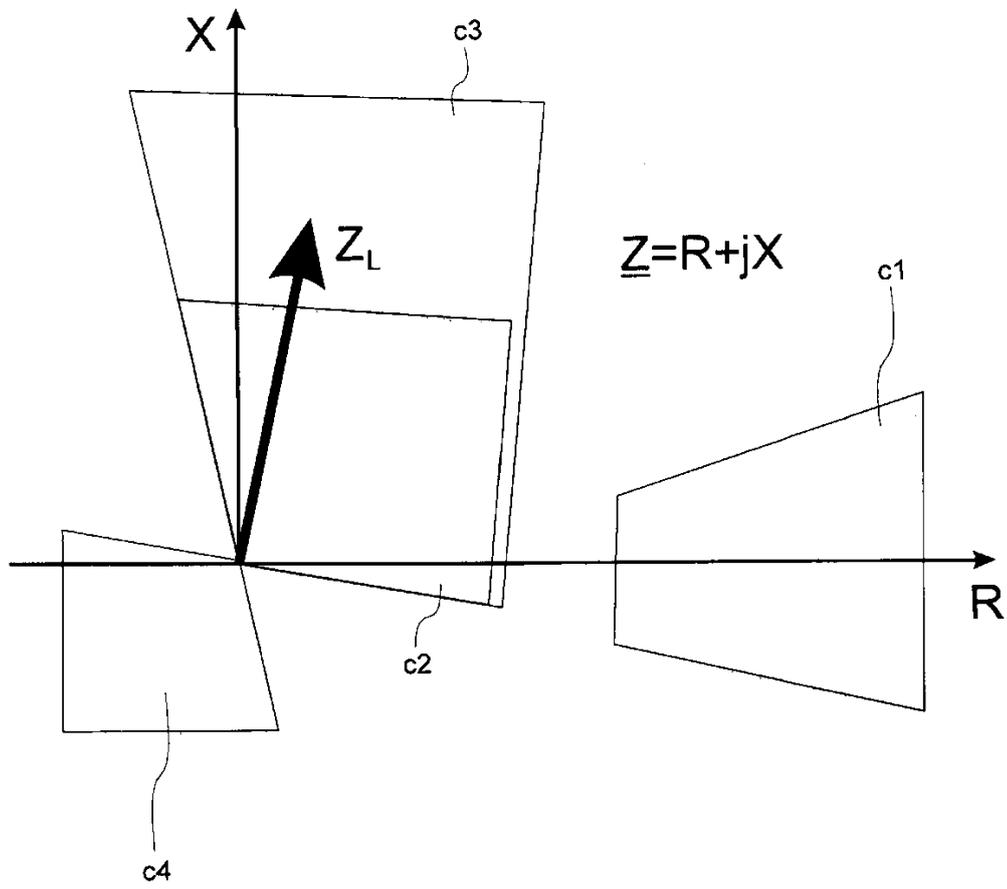


Fig. 3

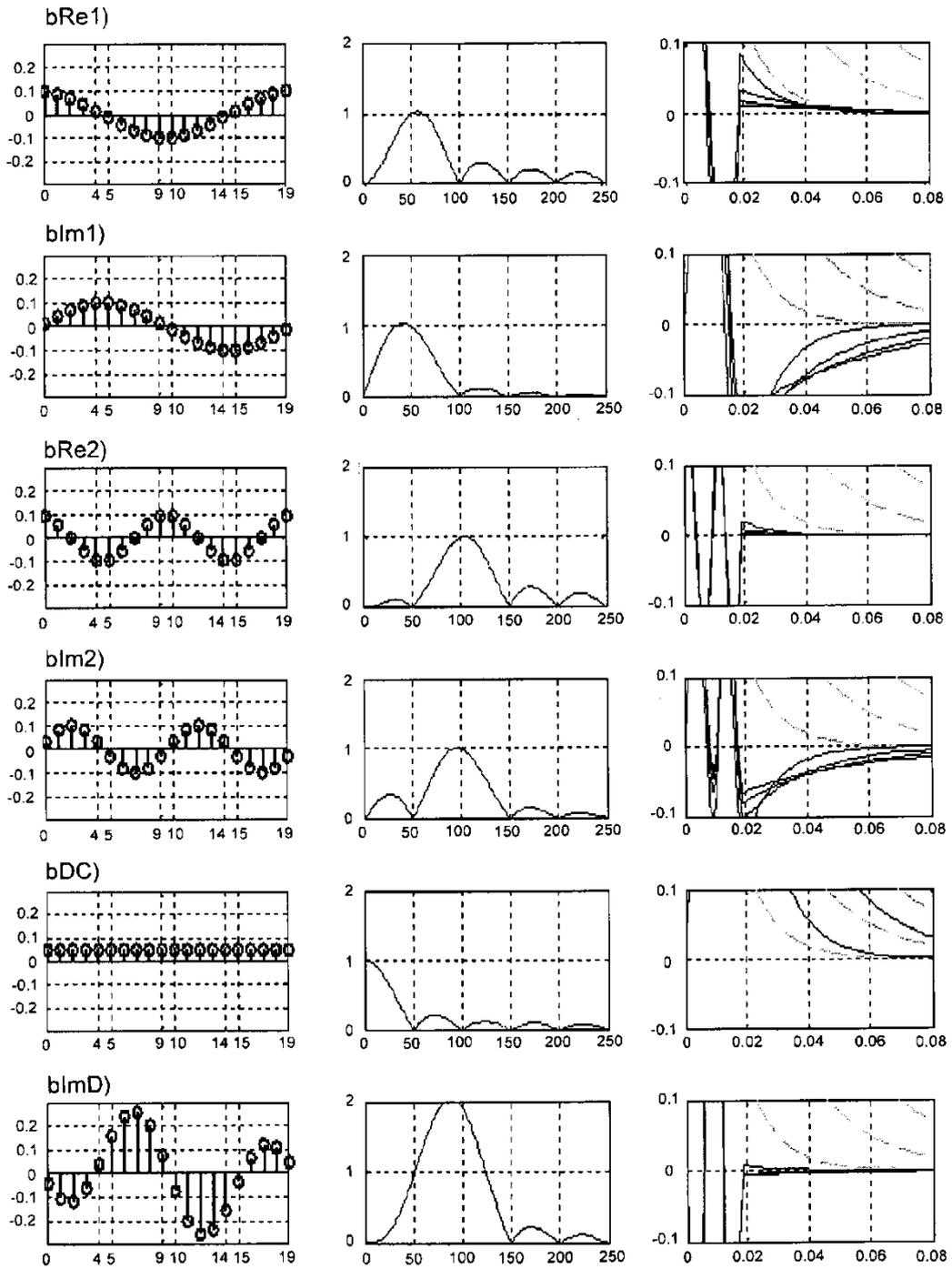


Fig. 4

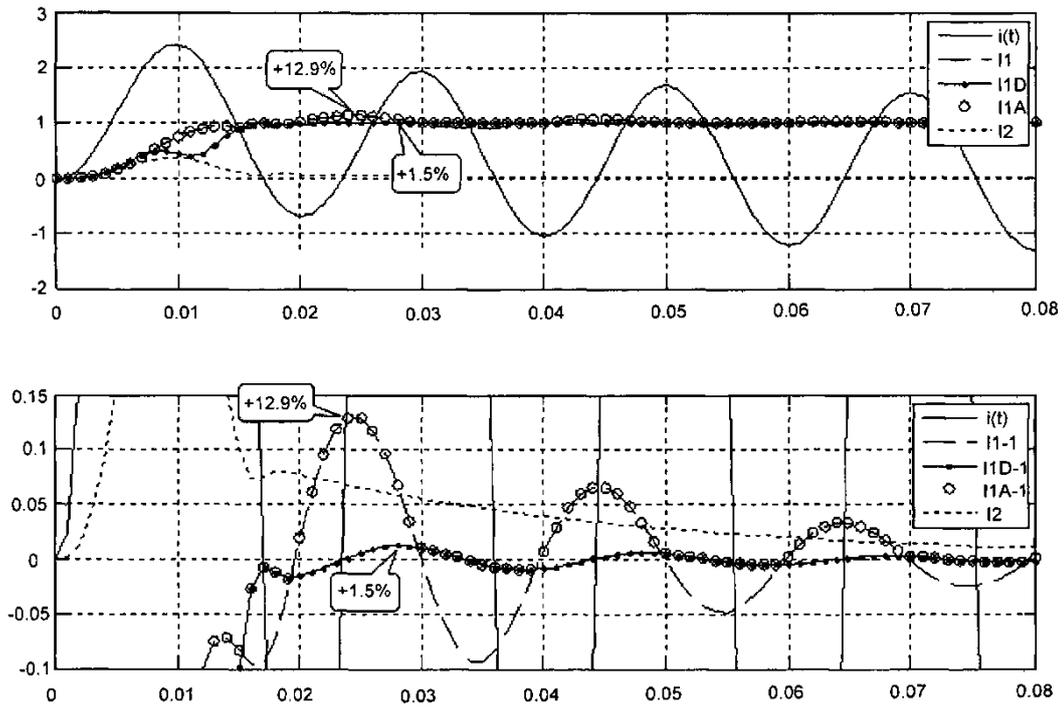


Fig. 5

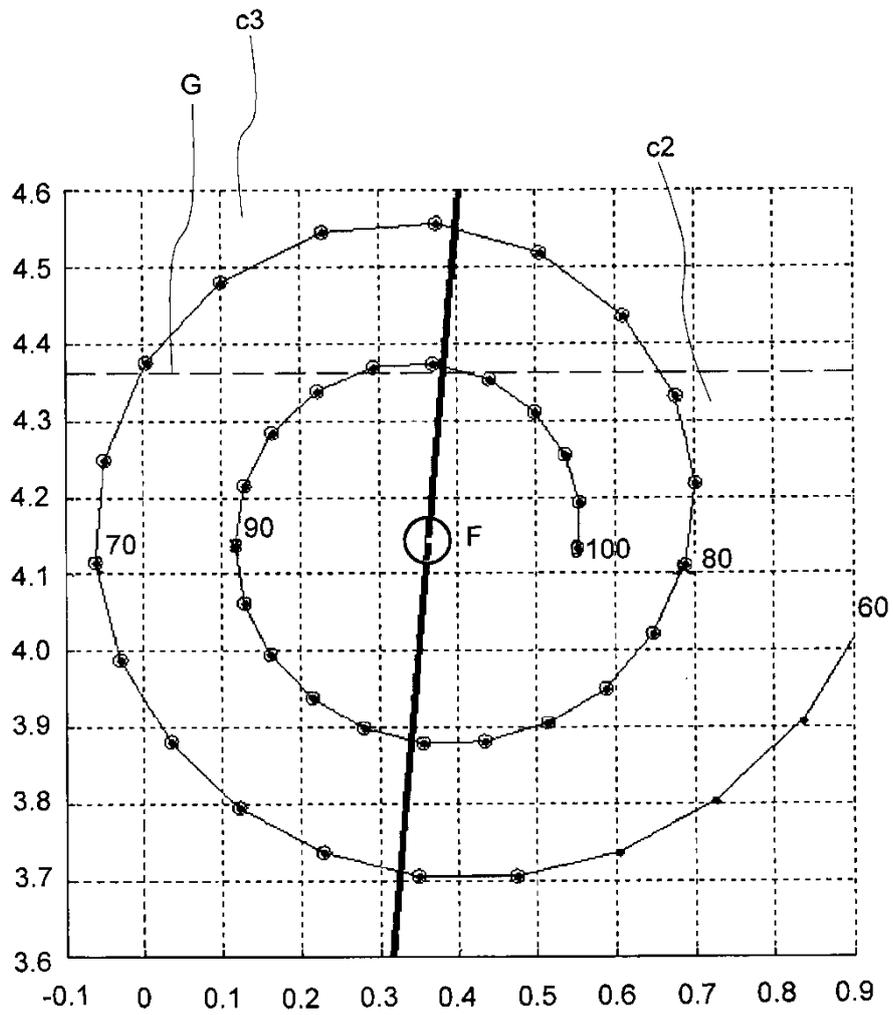


Fig. 6

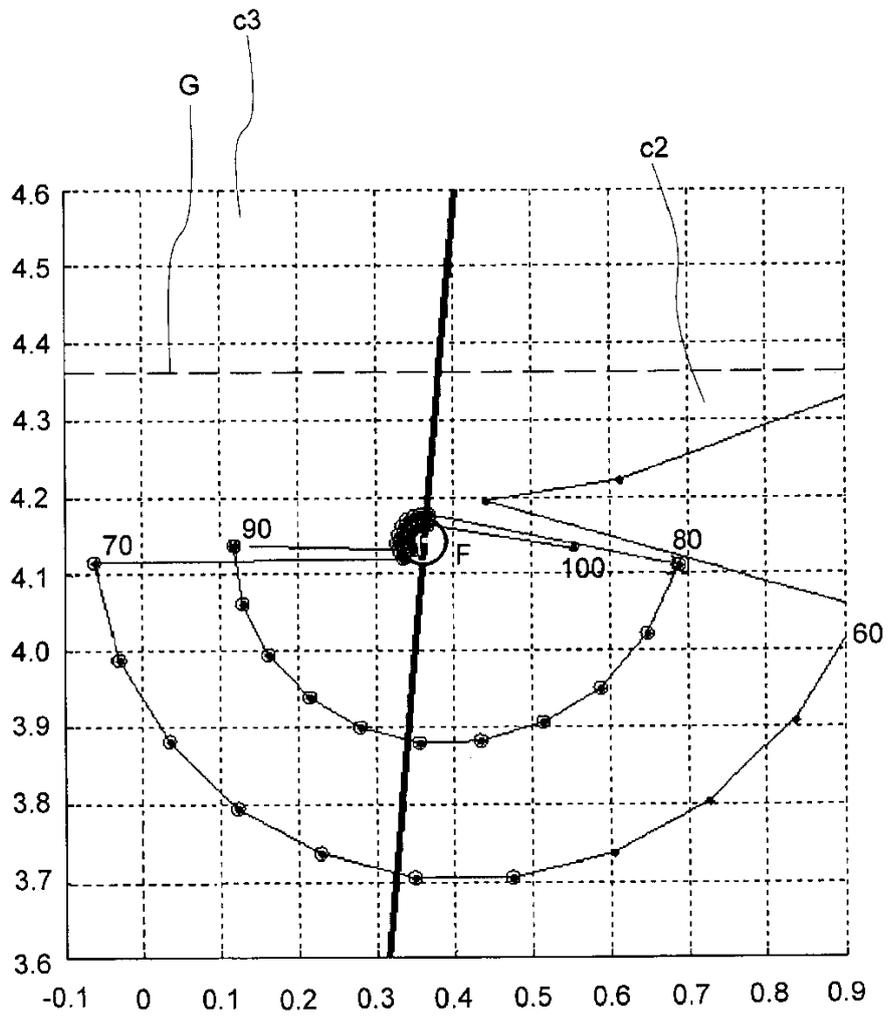


Fig. 7