

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 903 115**

51 Int. Cl.:

**H02H 3/16** (2006.01)

**H02H 3/33** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.06.2013** **E 13002965 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.10.2021** **EP 2814129**

54 Título: **Método y medios para protección contra fallos de toma de tierra compleja y universal en sistema de potencia de alta y media tensión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**31.03.2022**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)**  
**Bruggerstrasse 66**  
**5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**KALINA, EMIL y**  
**PROKOP, VACLAV**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 903 115 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Método y medios para protección contra fallos de toma de tierra compleja y universal en sistema de potencia de alta y media tensión

5 La invención se refiere a un método y medios para fallos de toma de tierra en sistema de potencia de alta y media tensión.

10 La detección de corriente residual es una clave en sistemas de protección contra fallos de toma de tierra de sistemas de potencia.

15 El documento WO2004/008600A2 describe sistemas de protección para sistemas eléctricos, en los que los sistemas eléctricos pueden incluir redes de punto y/o redes de rejilla. Se describe que los diversos sistemas de protección pueden designarse y usarse para detectar y eliminar fallos que pueden producirse dentro de los sistemas eléctricos. Por ejemplo, pueden usarse un par de bobinas de Rogowski para detectar corriente a lo largo de conductores en sus respectivas ubicaciones en los conductores, y para emitir correspondientes señales a un relé multifunción diferencial que tiene múltiples entradas de tensión y corriente. Comparando las señales de las bobinas de Rogowski, el relé diferencial puede determinar si existe un fallo en algún punto a lo largo de los conductores y entre el par de bobinas de Rogowski. También, el relé puede a continuación, en respuesta al fallo, desencadenar un disyuntor u otro dispositivo de protección de red para abordar el fallo.

20 El documento US2011/050154A1 describe que un aparato de conmutación eléctrico incluye una pluralidad de polos, cada uno de los cuales tiene una bobina de Rogowski y un conductor que pasa a través de una abertura de la misma, y un circuito de procesador que incluye un circuito de sensor que incluye una pluralidad de entradas, cada una de las cuales está interconectada eléctricamente con una salida de la bobina de Rogowski de un correspondiente polo. El circuito de sensor incluye adicionalmente un número de salidas que tienen valores, cada uno de los cuales corresponde a corriente que fluye a través del conductor, una memoria que incluye, para cada correspondiente polo, un valor de desplazamiento y un factor de corrección de ganancia para el circuito de sensor, y un factor de corrección de ganancia para la bobina de Rogowski, un número de rutinas, y un procesador que coopera con el circuito de sensor y las rutinas para proporcionar para cada polo un valor de corriente corregido como una función de uno correspondiente de los valores, el valor de desplazamiento de circuito de sensor y factor de corrección de ganancia, y el factor de corrección de ganancia de bobina de Rogowski.

25 El documento US2011/043190A1 describe que una bobina de Rogowski incluye un núcleo, un devanado de bobina de Rogowski dispuesto en el núcleo, un aislante dispuesto en el devanado de bobina de Rogowski dispuesto en el núcleo, y un devanado conductor dispuesto en el aislante dispuesto en el devanado de bobina de Rogowski dispuesto en el núcleo. El devanado conductor incluye una conexión eléctrica estructurada para conectarse a tierra. Cuando el devanado conductor se conecta a tierra, el devanado conductor conectado a tierra proporciona un apantallamiento electrostático para el devanado de bobina de Rogowski de la bobina de Rogowski.

30 Existen dos métodos para detectar la corriente residual. En el primer método, se usa un transformador de corriente de equilibrio de núcleo (CBCT). La salida del transformador es adecuada para la corriente residual del sistema por debajo del CBCT en la dirección del flujo de potencia. Esa parte del sistema, que está por encima del CBCT no está protegida por el uso de ese CBCT. Este primer método puede usarse en sistemas de red eléctricos con corriente de toma de tierra baja, por ejemplo, la red compensada. Para su uso en el sistema de red eléctrico con corriente de toma de tierra grande este método es caro.

35 El segundo método de detección de corriente residual usa la información de corriente de fase de los transformadores de instrumento. Esta información se suma, a continuación, y el resultado es la corriente residual. Este método puede usarse en sistemas de red eléctricos con corriente de toma de tierra grande, por ejemplo, redes con toma de tierra de resistencia. No puede usarse en un sistema de red eléctrico con corriente de toma de tierra baja debido a la sensibilidad de los transformadores de corriente.

40 Por tanto, el objeto de la invención es desarrollar un sistema de protección para una tarea técnica especial, que es medir la corriente residual.

45 En un aspecto, se proporciona un método para protección contra fallos de toma de tierra en un aparellaje de conmutación de media y/o alta tensión como se define en la reivindicación adjunta 1.

50 En otro aspecto, se proporciona un sistema de protección contra fallos de toma de tierra para un aparellaje de conmutación de media y/o alta tensión como se define en la reivindicación adjunta 8.

55 La solución, proporcionada por la invención, es que para un sistema de protección contra fallos de toma de tierra en potencia eléctrica y/o la parte de sistema de potencia eléctrica, por ejemplo, pero sin limitación a, protección de los conectores de cables, cuya corriente residual se determina indirectamente mediante el cálculo a partir de los valores de corriente de fase, obtenidos de las señales de salida de sensores de corriente basados en bobina de Rogowski.

5 Una realización ventajosa de la invención es que los sensores basados en bobina de Rogowski transforman las corrientes de fase a señales de tensión y las salidas de tensión de los sensores se conectan a un relé de protección (IED) que digitaliza los valores de tensión que, a continuación, se condicionan y, a continuación, se transforman al valor de la corriente medida, junto con la fase real de la misma.

Una etapa ventajosa adicional es que la corriente residual se determina, a continuación, en el relé de protección (IED) como una suma de vectores de la corriente de fase.

10 El valor de la corriente residual se compara, a continuación, con un nivel preestablecido, y se toman medidas preestablecidas para configurar la alarma y/o desconectar el disyuntor y/o enviar la información al nivel de sistema superior.

15 Opcionalmente, el valor de corriente residual puede visualizarse en un visualizador del relé de protección (IED), al operador, o enviar a un sistema de control superior usando una red digital.

20 La detección sensible de corriente residual es esencial para la protección contra EF, particularmente en sistemas con un nivel bajo de corriente de fallos de toma de tierra. Existen muchos métodos para la detección de corriente residual. En sistemas compensados o aislados pequeños, habitualmente se usa un transformador de corriente (de tipo anular) con equilibrio de núcleo (CBCT). Aunque la protección contra EF con un CBCT se usa ampliamente, el CBCT representa un equipo adicional que requiere el diseño de sus parámetros así como materiales y otras inversiones de costes.

25 Con el desarrollo de relés de protección digitales, la corriente residual puede calcularse fácilmente como una suma de vectores de tres corrientes de fase. Sin embargo, con transformadores de corriente (CT) tradicionales este método tiene un inconveniente significativo debido a la precisión limitada provocada por el tamaño limitado de los CT. La imprecisión de esta medición crea una corriente residual aparente que afecta a la función de protección contra EF. Por lo tanto, se recomienda usar la corriente residual calculada a partir de CT de fase únicamente en sistemas con altos niveles de corriente de fallo de toma de tierra.

30 Los sensores, con sus características lineales y sin saturación, proporcionan mediciones altamente precisas a través de todo el rango de operación. Un ejemplo típico es el sensor de corriente que puede medir con precisión corrientes de fase desde unos pocos amperios (A) hasta decenas de kiloamperios (kA). Esto significa que la corriente residual aparente creada por la imprecisión de mediciones puede ser muy baja y, por lo tanto, podría no haber ninguna limitación en el uso de la corriente residual calculada a partir de mediciones de corriente de fase de sensor en cualquier sistema, incluso con niveles extremadamente bajos de corriente de fallo de toma de tierra.

35 Debido a la ausencia de un núcleo ferromagnético, el sensor tiene una respuesta lineal a través de un rango de corriente primario amplio, excediendo por mucho el rango de transformador de corriente típico. Por tanto, la detección de corrientes tanto para propósitos de medición como de protección podría realizarse con un único devanado secundario. Adicionalmente, puede usarse un sensor estándar para un rango amplio de corrientes nominales y también es capaz de transferir con precisión señales que contienen un rango amplio de frecuencias diferentes de las nominales. El ejemplo típico de un sensor de corriente puede alcanzar la clase de medición 0,5 para mediciones de corrientes continuas en el rango de precisión extendido desde el 5 % de la corriente primaria nominal (por ejemplo, 4 A) hasta la corriente térmica continua nominal (por ejemplo, 4000 A). Para una medición de corriente dinámica (para propósitos de protección), los sensores de corriente pueden cumplir con los requisitos de la clase de protección hasta un valor impresionante que alcanza la corriente térmica de corta duración nominal (por ejemplo, 50 kA).

40 La corriente de fase cero se calcula como una suma de vectores de corrientes de fase. Las corrientes de fase se determinan a partir de valores digitalizados de las señales de sensor de bobina de Rogowski.

En una realización ventajosa adicional, el método se usa para la generación de apagar y/o conectar a tierra y/o cortocircuitar, por la protección contra fallos de toma de tierra sensible en sistemas de potencia.

55 Mediante el uso de bobinas de Rogowski, el sensor de corriente puede situarse en cada región deseada o importante del sistema de potencia, por ejemplo, pero sin limitación a, dentro de la contención de aparellaje de conmutación, debido a sus medidas muy compactas. Además, las bobinas de Rogowski tienen la ventaja en ese uso, que en ausencia de núcleos de hierro, se elimina el fenómeno de saturación y, por lo tanto, el rango de medición dinámico crece sustancialmente. Dado que la bobina de Rogowski tiene una característica lineal, se proporciona la medición muy precisa en todo el rango de operación. A continuación, es posible medir con fiabilidad y precisión corrientes mucho más pequeñas así como mucho mayores, a continuación podría ser posible mediante transformadores de corriente convencionales con la misma corriente nominal.

60 Un panel con sensores basados en bobina de Rogowski, cuya señal se usa para el cálculo de corrientes residuales, proporciona una significativa ventaja competitiva entre otras soluciones. La corriente residual puede calcularse con precisión en rango más amplio que con transformadores convencionales. Los sensores de alta precisión pueden proporcionar información lo suficientemente precisa para usarse tanto en sistemas de red eléctricos de corriente de

toma de tierra baja y grande.

En una realización ventajosa adicional de la invención, un algoritmo de cálculo para la determinación del valor de señal de sensor se implementa como un producto de programa de software intercambiable, cuyos parámetros se ajustan o son ajustables al uso específico en el aparellaje de conmutación de otras aplicaciones, de esa forma, que el algoritmo de cálculo es transferible en la electrónica de orientación a través de un medio de datos, o un fichero de datos enviado a través de un navegador.

Esto es significativamente ventajoso, porque concluye las dimensiones pequeñas y compactas del uso de sensor de corriente inventivo, con una sencilla retroadaptación de cada aparellaje de conmutación. Por tanto, los sensores de corriente pueden retroadaptarse, y en el mismo tiempo el algoritmo para su orientación y la implementación en el sistema de protección puede retroadaptarse fácilmente en el mismo tiempo, mediante únicamente una sencilla implementación mediante la transferencia de datos de algoritmo a través de medios de datos o archivo de datos en el sistema de orientación de aparellaje de conmutación.

El propio sistema de protección contra fallos de toma de tierra para aparellajes de conmutación consta de al menos una bobina de Rogowski sin núcleo usada para cada una de una trayectoria de corriente trifásica, y que las bobinas de Rogowski se combinan con relés de protección de esa forma, esa corriente residual de los alimentadores del aparellaje de conmutación puede calcularse y, en caso de que se detecte una corriente residual sobre el límite preestablecido, se activa la protección contra fallos de toma de tierra.

En una realización ventajosa adicional de la invención, la bobina de Rogowski se aplica en un alojamiento de sensor anular delgado, y que el alojamiento de sensor tiene nervaduras exteriores concéntricas, para ampliar la trayectoria de fuga a lo largo del diámetro del anillo de alojamiento de sensor.

La ventaja de la invención es que el sensor es lo suficientemente pequeño para caber en el espacio ajustado en el compartimento de disyuntor y, tiene tal relación nominal (80 A/150 mV), que puede medir las corrientes de fase con una precisión lo suficientemente buena para un cálculo de I0 suficiente.

La idea básica para esta solución es usar tales sensores, para la ausencia de un fenómeno de saturación, con un rango de medición muy amplio; en este caso puede medir desde 4 A a 4000 A. La protección de extremos de cable y conector es importante ya que esta es parte del aparellaje de conmutación, que se prepara manualmente durante la instalación y como resultado de error humano, relativamente a menudo se producen ahí fallos de daño al aislamiento y/o capas de apantallamiento, o impuridad material.

De acuerdo con un sistema de protección contra fallos de toma de tierra de los conectores de cables en aparellajes de conmutación de alta y/o media tensión, en donde las bobinas de Rogowski se usan para la detección de corriente, la invención es que al menos se usa una bobina de Rogowski sin núcleo para cada una de una trayectoria de corriente trifásica, y que las bobinas de Rogowski se combinan con relés de protección de esa forma, que puede calcularse la corriente residual de los alimentadores del aparellaje de conmutación, y en el caso en el que un valor de corriente residual alcance nivel preestablecido, se activa la protección contra fallos de toma de tierra.

En una realización muy ventajosa adicional, la bobina de Rogowski se aplica en un alojamiento de sensor anular delgado, y que el alojamiento de sensor tiene nervaduras exteriores concéntricas, para ampliar la trayectoria de fuga a lo largo del diámetro del anillo de alojamiento de sensor.

El mejor lugar para las bobinas es que la bobina de Rogowski o las bobinas de Rogowski se dispongan entre las nervaduras.

En las figuras se muestran realizaciones ventajosas:

Figura 1: visión general del uso del sensor en un aparellaje de conmutación de media tensión.

Figura 2: creación de corriente residual aparente.

Figura 3: impacto de corriente residual aparente en el rendimiento de protección contra EF.

Figura 4: relación entre corriente residual aparente y corriente primaria inyectada.

Figura 5: esquema simplificado de modelo de red.

Figura 6: esquema simplificado de equipo conectado.

Figura 7: esquema simplificado de equipo conectado.

Figura 8: alojamiento de sensor detallado en vista frontal.

Figura 9: alojamiento de sensor detallado en una vista de corte.

La Figura 1 muestra una vista general de un panel de aparellaje de conmutación de media tensión 1. Dentro se muestra la barra colectora 2 y el disyuntor 3, con un punto o terminal de conexión más alto y más bajo. Los sensores 8 se ubican y sitúan entre el conector de cables 4 y los conectores del disyuntor 3. Por tanto, debido al hecho de que los sensores de bobina de Rogowski son lo suficientemente pequeños, pueden disponerse fácilmente ahí.

En la sección saliente se ubican el conector de cables 5 y el cable saliente 6 y finalmente la medición de corriente cero 7.

Los relés de protección basados en microprocesador modernos habilitan el cálculo de corriente residual como una suma de vectores de tres corrientes de fase. Sin embargo, existe una limitación para la aplicación en sistemas con nivel bajo de corriente de fallo de toma de tierra si se usan CT convencionales para las mediciones de corriente de fase. Debido al error de medición de cada CT, se recomienda usar una corriente residual calculada como se muestra en las Figuras 2 y 3, únicamente si la corriente de fallo de toma de tierra es mayor que el 10 % de la corriente nominal. En otros casos se recomienda usar un CBCT. La recomendación supone que se han usado los CT con clase de precisión de protección y, por lo tanto, la precisión limitada de tal clase se considera con un margen de seguridad adicional.

La amplitud y errores de fase de los CT distorsionan las corrientes de fase medidas. El Dispositivo Electrónico Inteligente (IED), a continuación, observa las diferentes corrientes de fase en lugar de las corrientes de fase reales en la red. En consecuencia, la corriente residual aparente se crea debido a una imprecisión de medición.

El nivel de corriente residual aparente normalmente es bastante difícil de determinar; además, este componente podría afectar a la función correcta de la protección contra EF. Si la corriente residual aparente es demasiado alta en relación con la corriente de fallo de toma de tierra, podría provocar un mal funcionamiento de la protección contra EF (operación falsa o fallo en la operación).

**$I_0$**  - corriente de fallo de toma de tierra real en la red

**$I_0(\text{ap})$**  - corriente residual aparente

**$I_0(\text{r})$**  - corriente de fallo de toma de tierra observada por IED

Por otra parte, si la medición es muy precisa en todo el rango de operación proporcionado por los sensores, la corriente residual aparente podría ser, a continuación, muy baja sin un impacto significativo en la operación de protección contra EF.

Las pruebas primarias de protección contra EF basada en corriente residual calculada en condiciones de estado estable se hicieron para determinar el nivel de la corriente residual aparente. Las pruebas se hicieron en un laboratorio con la fuente de corriente primaria que suministró la corriente trifásica en el rango 0-2000 A a los tres sensores conectados. El sistema de pruebas se conectó como una red aislada (sin ninguna conexión de neutro a la toma de tierra), por lo tanto no podría aparecer ninguna corriente residual real. En consecuencia el desencadenamiento de la protección contra fallos de toma de tierra podría provocar únicamente corriente residual aparente creada por la imprecisión de medición. El nivel de corriente residual aparente se detectó por un incremento gradual de corriente primaria inyectada ( $I_p$ ) y mediante el ajuste de la corriente de arranque de protección contra EF. Si la protección contra EF se desencadenó, la corriente residual aparente fue mayor que la corriente de arranque de protección contra EF  $I_0(\text{op})$ . A continuación, la configuración de corriente de arranque de protección contra EF se aumentó en una etapa hasta el valor que no provocó el desencadenamiento  $I_0(\text{inop})$ . La corriente primaria ( $I_p$ ) se inyectó en la etapa 10 A en el rango 20 - 1000 A y, a continuación, en la etapa 25 A en el rango 1000 - 2000 A.

Configuración de la protección contra EF en REF615:

Corriente nominal:  $I_n=40$  A

Corriente de arranque: desde el 1 % hasta el 3 % de  $I_n$

Retardo de tiempo: 40 ms

$I_p$  - corriente inyectada establecida en la fuente de corriente primaria  $I_{s1}$ ,  $I_{s2}$ ,  $I_{s3}$  - corrientes de fase leídas del IED

$I_0(\text{op})$  [%], [A] - corriente de arranque de la protección contra EF en [%], [A] cuando IED desencadenó  $I_0(\text{inop})$  [%], [A]

- corriente de arranque de la protección contra EF en [%], [A] cuando IED no desencadenó. Nota: En la Tabla 1 se

mencionan únicamente los valores donde se midió el cambio de la corriente residual aparente.

La fuente de corriente trifásica primaria no fue capaz de proporcionar exactamente un desplazamiento de fase de 120° entre las fases. Este hecho dio como resultado diferentes valores de amplitud de corrientes medidas en tres fases, pero no tuvo ningún impacto en la precisión de medición, precisión de corriente residual calculada o rendimiento de protección contra EF dado que la suma de vectores de corrientes de fase primarias fue cero todo el tiempo debido a la conexión del equipo como un sistema aislado.

La curva superior (Inoperativa) en la Figura 4 representa la característica cuando la protección contra EF no se desencadenó y la curva inferior (Operativa) representa la característica cuando la protección contra EF se activó por la corriente residual aparente y se desencadenó. En consecuencia, la amplitud de corriente residual aparente alcanza, a continuación, los valores entre las características azules y rojas expresadas por la zona gris. A partir de los resultados es evidente que la corriente residual aparente alcanzó unos valores muy aceptables que demostraron la alta precisión

de la medición de sensor, por ejemplo, para corriente inyectada 2000 A fue corriente residual aparente en el rango 1-1,2 A.

Los resultados de la prueba indicaron una precondición muy prometedora para disminuir la configuración recomendada de protección contra EF desde el 10 % de corriente nominal a valores menores si se usa la corriente residual calculada a partir de la medición de sensor.

Las pruebas primarias de protección contra EF basada en corriente residual calculada en el modelo de la red (tensión de alimentación 230 V) se hicieron para demostrar el comportamiento en condiciones transitorias y para verificar los resultados positivos de la prueba anterior hecha en un laboratorio en condiciones de estado estable.

El modelo de la red constó de un transformador elevador de alimentación, disyuntor, transformador que habilitó crear un tipo requerido de conexión a tierra neutra de red, y diferentes tipos de cargas, por ejemplo, transformador de potencia para una prueba de estabilidad en corriente de irrupción o condensadores para pruebas de fallo de toma de tierra.

230 V 230 V Transformador de potencia Condensadores Transformador elevador de potencia Transformador de potencia

La Figura 5 visualiza un esquema simplificado de la prueba de estabilidad de modelo de red en una corriente de irrupción. La corriente de irrupción representa un elemento problemático para CT convencionales en el caso en el que los CT no pueden diseñarse con parámetros apropiados (principalmente debido a un tamaño limitado o corriente primaria nominal baja requerida). Durante la operación de conmutación de un transformador de potencia, la corriente de irrupción podría provocar una saturación de tales CT, que, a continuación, iniciaría un desencadenamiento falso de la protección contra EF si se usa la corriente residual calculada. Por lo tanto, este caso se simuló intencionadamente con el IED RET615 conectado a los CT con una carga secundaria muy alta proporcionada por las resistencias conectadas  $R_b = 500 \Omega$ .

El IED REF615 se conectó a los sensores combinados para mediciones de corriente de fase y tensión de fase. El CBCT conectado al REF615 se usó como una referencia.

REF 615 RET 615 Transformador de potencia 3xRb 310 Sensores combinados CBCT CT 310 Rb=500  $\Omega$  Transformador de potencia

La Figura 6 visualiza un esquema simplificado de equipo conectado durante la prueba de estabilidad. La protección contra EF (en REF615) basada en corriente residual calculada a partir de mediciones de sensor se estableció en la configuración (mínima) más sensible:

Corriente nominal:  $I_n=40$  A

Corriente de arranque: 1 % de  $I_n$

Retardo de tiempo: 40 ms

Se simularon 25 pruebas para verificar la estabilidad en la corriente de irrupción sin ningún desencadenamiento falso de protección contra EF basada en corriente residual calculada a partir de mediciones de sensor (en REF615). Con el IED RET615 se simularon casos cuando los CT se saturan debido a una corriente de irrupción durante la operación de conmutación de un transformador de potencia y, en consecuencia, crea un desencadenamiento falso de la protección contra EF. A pesar del hecho de que los IED modernos pueden detectar una corriente de irrupción y, por lo tanto, evitar el desencadenamiento no deseado de protección contra EF, tales funciones aún no son muy usadas por los usuarios.

Las pruebas de fallos de toma de tierra en el modelo de red con sistemas neutros aislados con neutro aislado podrían representar desafíos para la detección tradicional de fallos de toma de tierra particularmente en el caso de redes pequeñas en las que el nivel de corriente residual es muy bajo. El propósito de las pruebas era verificar el comportamiento de protección contra EF en un sistema aislado con un nivel bajo de corriente de fallo de toma de tierra en el modelo de la red durante condiciones transitorias. La capacidad de red se simuló por condensadores conectados en las tres fases. El IED REF615 se conectó a los sensores combinados. El CBCT se usó como una referencia para la medición de corriente residual.

La protección contra EF (en REF615), basada en corriente residual calculada a partir de mediciones de sensor, se estableció en la configuración (mínima) más sensible:

Corriente nominal:  $I_n=40$  A

Corriente de arranque: 1 % de  $I_n$

Retardo de tiempo: 60 ms

Se simularon tres tipos diferentes de los fallos de toma de tierra: fallos de toma de tierra ininterrumpidos, fallos de toma de tierra de baja y alta impedancia y fallos de toma de tierra intermitentes.

Considerando los fallos de toma de tierra ininterrumpidos en una red aislada;

Durante la simulación de fallos de toma de tierra ininterrumpidos, la fase L1 se conectó a la toma de tierra. En total, se hicieron seis pruebas en las que se verificaron la detección de corriente de corrientes de fallo de toma de tierra así como la función direccional apropiada (directa e inversa).

Las corrientes de fase antes del fallo de toma de tierra fueron aproximadamente de 0,5 A. La corriente de fallo de toma de tierra fue aproximadamente de 1,6 A durante las pruebas y la protección contra EF siempre detectó esta corriente de fallo de toma de tierra correctamente. La desviación de amplitud máxima entre corriente residual calculada (desde

una medición de sensor de corriente trifásica) y corriente residual medida directamente (por un CBCT) fue aproximadamente de 0,1 A. La desviación podría provocarse por una corriente residual aparente en el lado de corriente residual calculada, pero en el otro lado también la precisión del CBCT de referencia podría limitarse debido a la medición de tales corrientes bajas.

5 Considerando los fallos de toma de tierra de impedancia en una red aislada;

Durante la simulación de fallos de toma de tierra de impedancia, la fase L1 se conectó a la toma de tierra a través de resistencias con las siguientes resistencias:  $R_f = 1,13 \Omega$ ;  $50 \Omega$ ;  $100 \Omega$ ;  $114 \Omega$ ;  $115 \Omega$ . En total, se hicieron cinco pruebas con resultados positivos y una detección correcta de fallos de toma de tierra. Las corrientes de fallo de toma de tierra estaban en el rango desde 1,6 A hasta 0,7 A. La desviación de amplitud máxima entre corriente residual calculada (desde un sensor de corriente trifásica) y corriente residual medida directamente (por CBCT) fue de nuevo aproximadamente de 0,1 A.

10

**Considerando fallos de toma de tierra intermitentes en una red aislada;**

Para la simulación de fallos de toma de tierra intermitentes, se usaron reóstatos de  $5,4 \Omega$  y  $250 \Omega$ . Los EF intermitentes se simularon mediante el movimiento de un pasador en la parte posterior de los reóstatos, donde se crearon pequeños arcos. En total, se hicieron once pruebas en las que la protección contra EF operó correctamente durante todas estas condiciones no estándar.

15

Como conclusión puede decirse:

20

Los sensores de tensión media (MV) basados en principios no convencionales representan una forma alternativa a cómo medir corriente y tensión para propósitos de protección y supervisión en sistemas de MV. Debido a su tamaño compacto, nivel alto de estandarización, insignificante consumo de energía, alta fiabilidad y seguridad, existen muchas ventajas para usuarios y aplicaciones. Su característica lineal y medición muy precisa en todo el rango de operación ofrece nuevas posibilidades en los esquemas de protección. Un área en la que estos beneficios podrían usarse completamente se representa por la aplicación con protección contra EF.

25

Las pruebas en condiciones de estado estable y en condiciones transitorias se realizaron para demostrar el concepto de protección contra EF basada en corriente residual calculada a partir de mediciones de sensor.

30

Los resultados de las pruebas indicaron una precondition mínima muy prometedora para disminuir la configuración mínima recomendada de protección contra EF, basada en corriente residual calculada a partir de medición de sensor, a valores menores que en el caso de corriente residual calculada a partir de mediciones de CT convencionales. Esto habilitaría el uso de corriente residual calculada también en la red con un nivel muy bajo de corriente de fallo de toma de tierra, por ejemplo, redes compensadas que contribuirán a los ahorros de materiales y costes, simplificarán adicionalmente los esquemas de protección y aumentarán la fiabilidad del sistema de protección. El concepto entero de protección contra EF basada en corriente residual calculada a partir de mediciones de sensor se verificará adicionalmente con las pruebas de campo en las redes.

35

La Figura 8 muestra un alojamiento, en el que se dispone la bobina de Rogowski. El alojamiento tiene dos elementos de reborde en los bordes un puntos de fijación.

40

El alojamiento tiene una abertura interior redonda para el conductor. La periferia aplicada con estructuras concéntricas, para ampliar la trayectoria de fuga paralela a la dirección de diámetros.

Este detalle se muestra también en la Figura 9.

45

El corte a lo largo del diámetro del alojamiento hace visible la ampliación de la longitud de fuga. La superficie interna del alojamiento está metalizada para formar un apantallamiento conectado a tierra, y los componentes que forman la bobina de Rogowski se funden en ese alojamiento.

#### Números de posición

50

- 1 Panel de aparellaje de conmutación
- 2 Barras colectoras
- 3 Disyuntor
- 4 Conexión de cables
- 5 Conector de cables
- 6 Cable
- 7 Medición de corriente de fase cero
- 8 Posición de sensor
- 10 Alojamiento de sensor

- 12 Puntos de fijación
- 13 estructuras de longitud de fuga
- 14 bobina de Rogowski

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un método para protección contra fallos de toma de tierra en un aparellaje de conmutación de media y/o alta tensión, comprendiendo el método determinar una corriente residual con tres sensores de corriente basados en bobina de Rogowski, en donde, cada sensor de corriente se sitúa en cada trayectoria de corriente de tres trayectorias de corriente del aparellaje de conmutación;  
caracterizado por que  
el método comprende digitalizar y transformar señales de tensión desde cada uno de los tres sensores de corriente a tres corrientes de fase que comprenden tres valores de corriente y tres fases asociadas de los tres valores de corriente;  
10 y  
en donde, determinar la corriente residual comprende determinar una suma de vectores de las tres corrientes de fase.
- 15 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las señales de tensión desde cada uno de los tres sensores de corriente se digitalizan y transforman a tres corrientes de fase en al menos un relé de protección.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la corriente residual se determina como la suma de vectores de las tres corrientes de fase en el al menos un relé de protección.
- 20 4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde el método comprende activar protección contra fallos de toma de tierra cuando el valor de corriente residual alcanza un nivel preestablecido.
5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde activar la protección contra fallos de toma de tierra comprende desconectar un disyuntor.
- 25 6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde el método comprende proporcionar cada uno de los tres sensores de corriente con un anillo de alojamiento configurado para tener una trayectoria de fuga ampliada.
- 30 7. Método de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el anillo de alojamiento de cada uno de los tres sensores de corriente comprende nervaduras exteriores concéntricas para proporcionar la trayectoria de fuga ampliada.
8. Un sistema de protección contra fallos de toma de tierra para un aparellaje de conmutación de media y/o alta tensión, comprendiendo el sistema:  
tres sensores de corriente basados en bobina de Rogowski;  
35 en donde, cada sensor de corriente se sitúa en cada trayectoria de corriente de tres trayectorias de corriente del aparellaje de conmutación;  
caracterizado por que  
señales de tensión desde cada uno de los tres sensores de corriente están configuradas para digitalizarse y transformarse a tres corrientes de fase que comprenden tres valores de corriente y tres fases asociadas de los tres  
40 valores de corriente; y  
en donde, una corriente residual se determina como una suma de vectores de las tres corrientes de fase.
- 45 9. Sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en donde las señales de tensión desde cada uno de los tres sensores de corriente se digitalizan y transforman a tres corrientes de fase en al menos un relé de protección.
10. Sistema de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la corriente residual se determina como la suma de vectores de las tres corrientes de fase en el al menos un relé de protección.
- 50 11. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en donde el sistema está configurado para activar protección contra fallos de toma de tierra cuando el valor de corriente residual alcanza un nivel preestablecido.
12. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11, en donde la activación de la protección contra fallos de toma de tierra comprende desconectar un disyuntor.
- 55 13. Sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-12, en donde cada uno de los tres sensores de corriente comprende un anillo de alojamiento configurado para tener una trayectoria de fuga ampliada.
14. Sistema de acuerdo con la reivindicación 13, en donde el anillo de alojamiento de cada uno de los tres sensores de corriente comprende nervaduras exteriores concéntricas para proporcionar la trayectoria de fuga ampliada.
- 60 15. Sistema de acuerdo con la reivindicación 14, en donde cada sensor de corriente comprende una bobina de Rogowski dispuesta en el anillo de alojamiento.

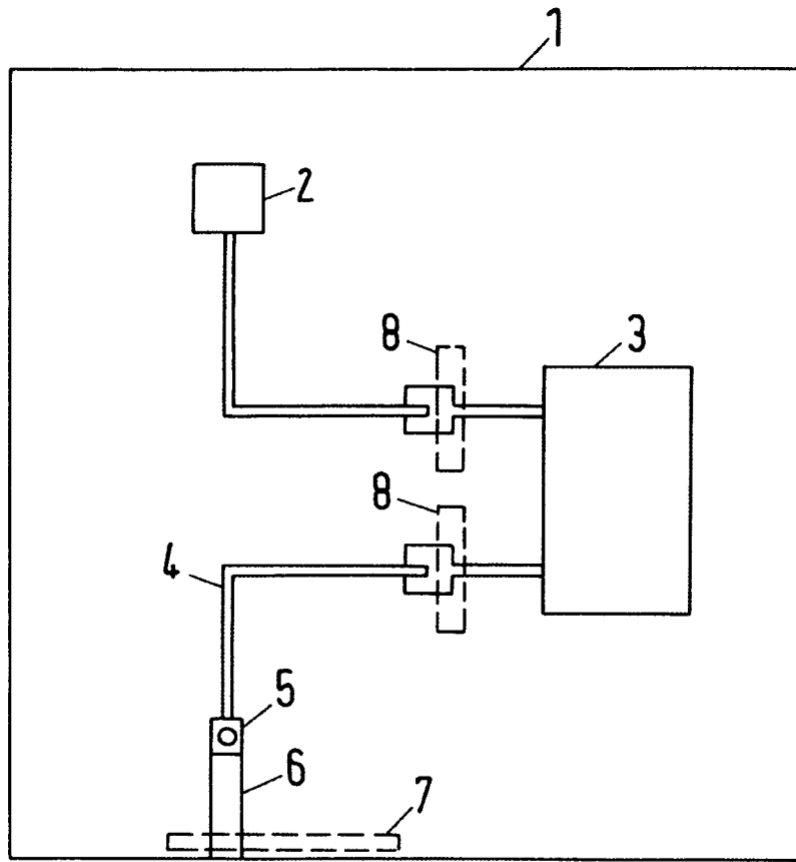


Fig.1

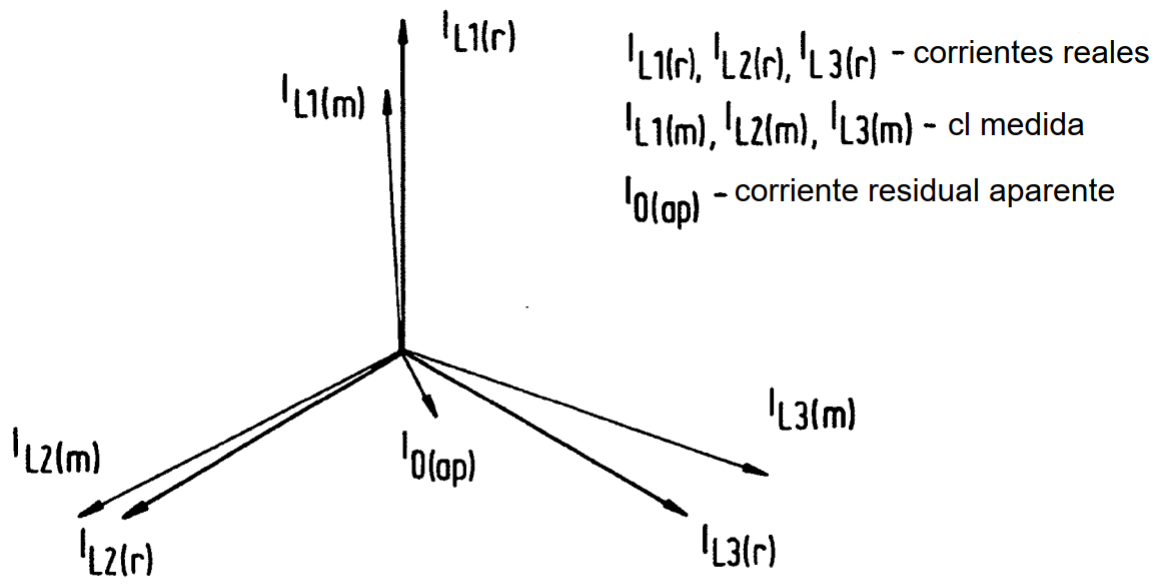


Fig.2

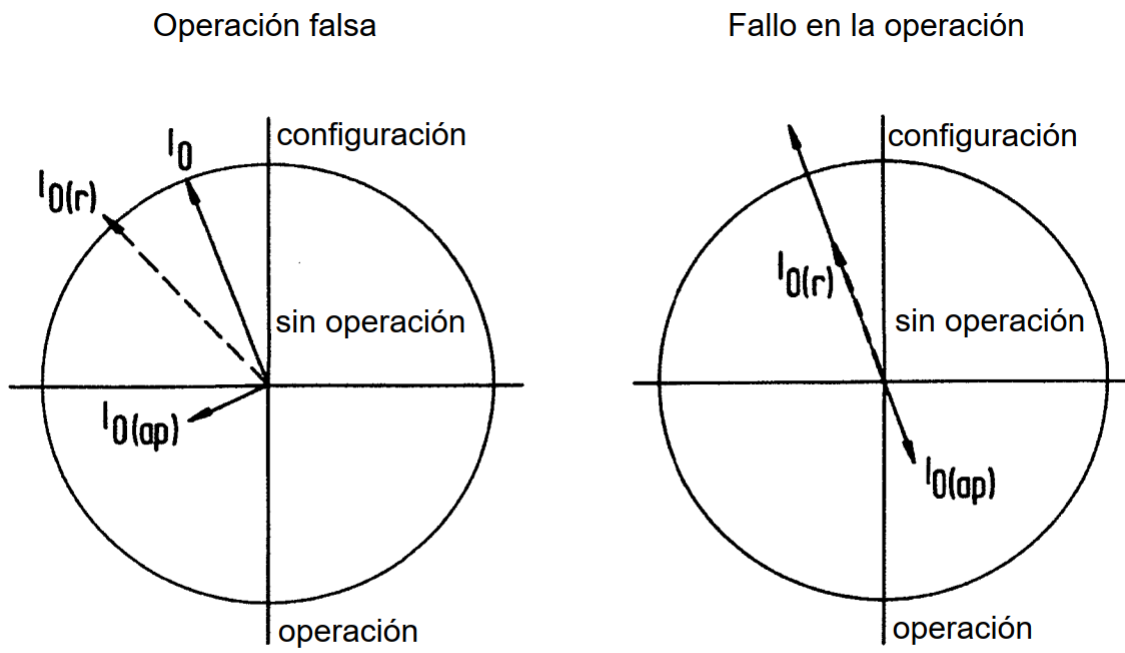


Fig.3

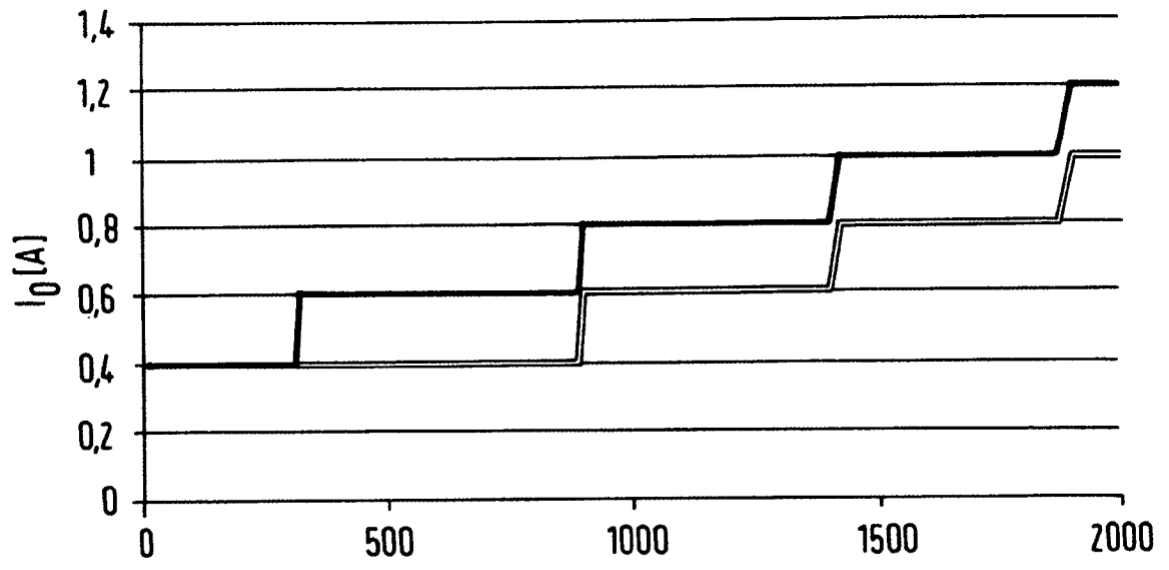


Fig.4

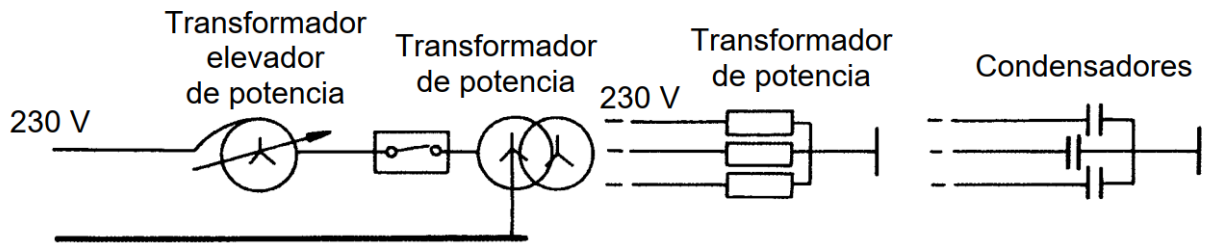


Fig.5

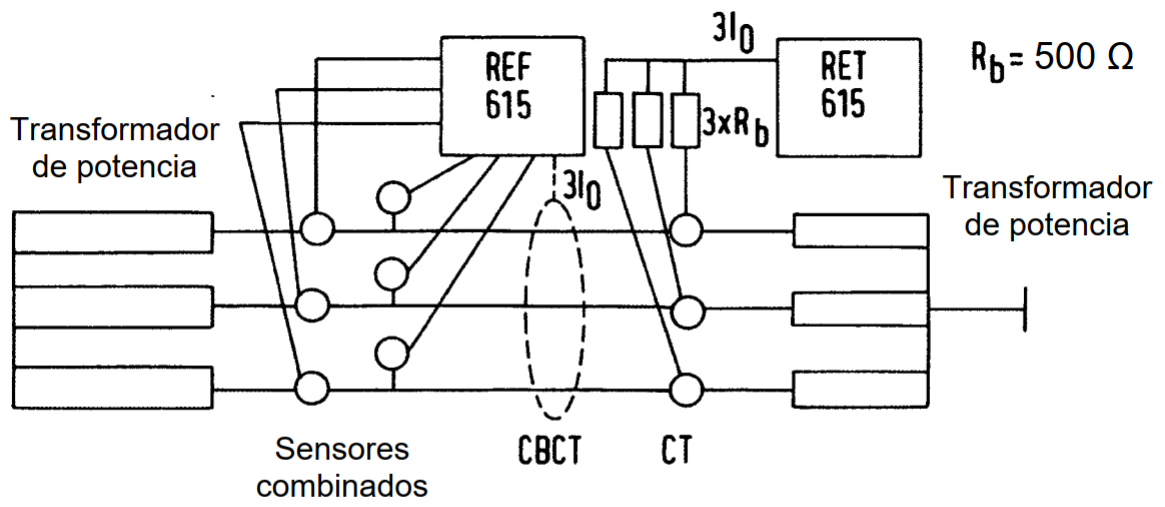


Fig.6

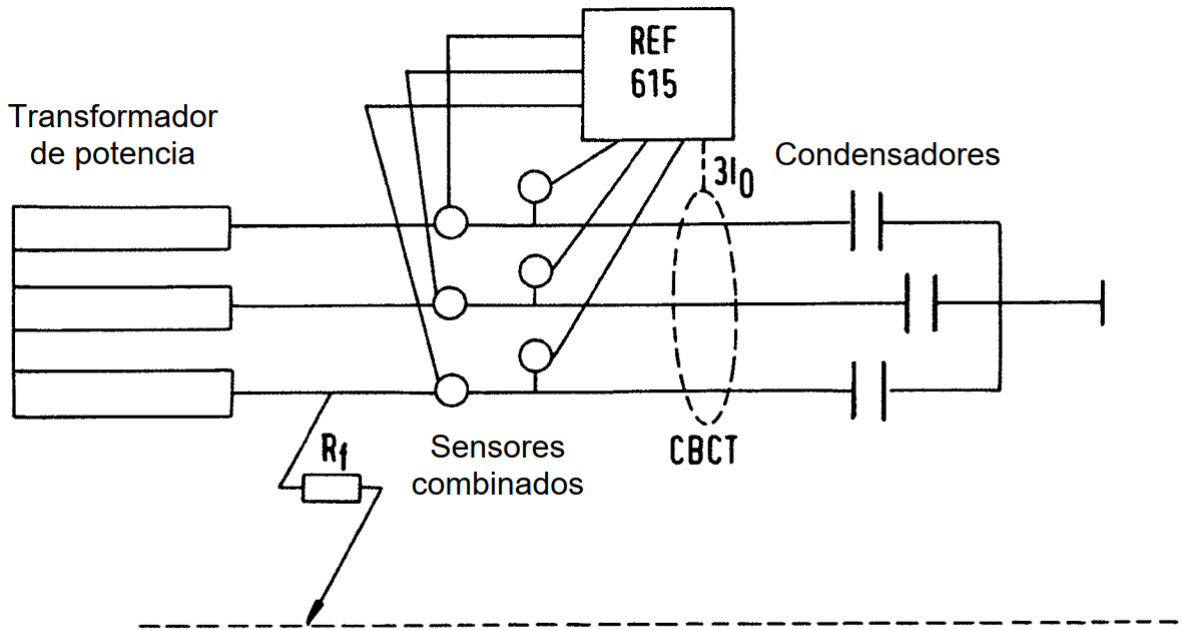


Fig.7

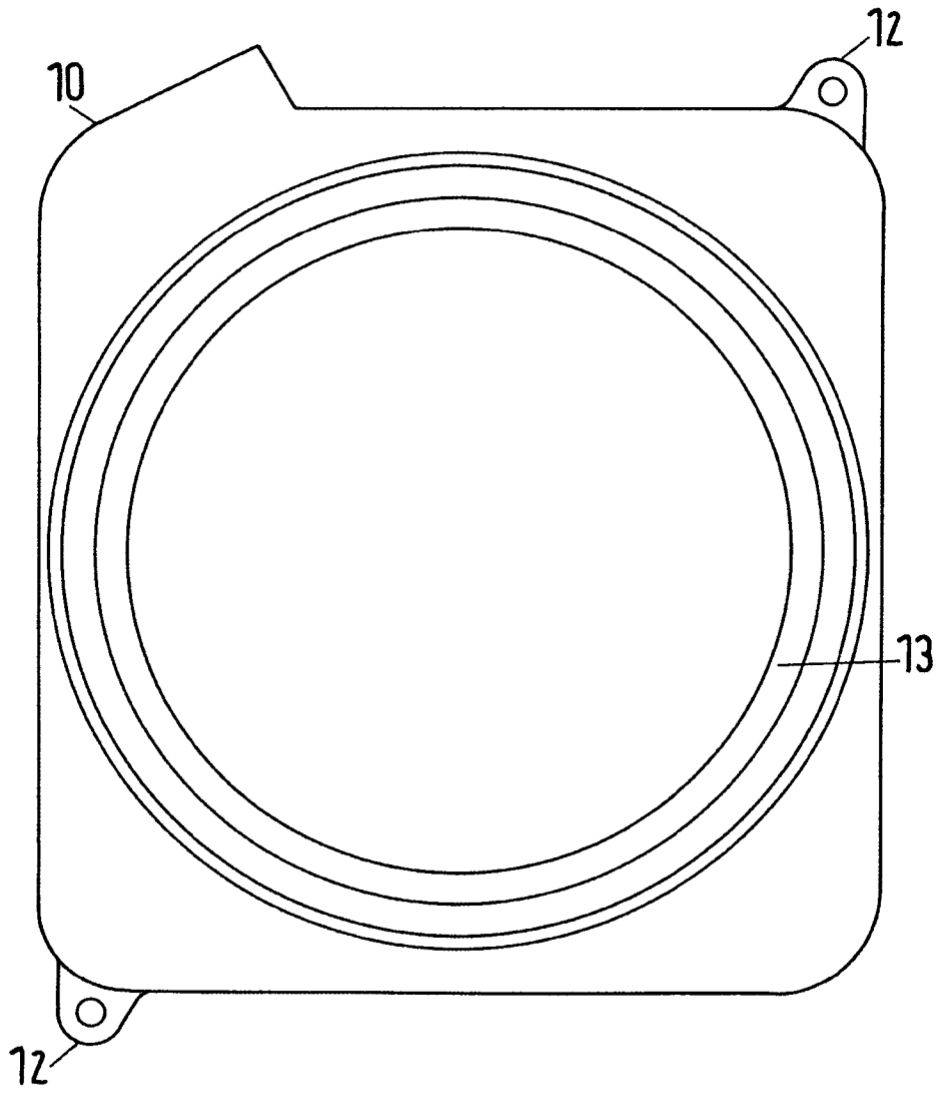


Fig.8

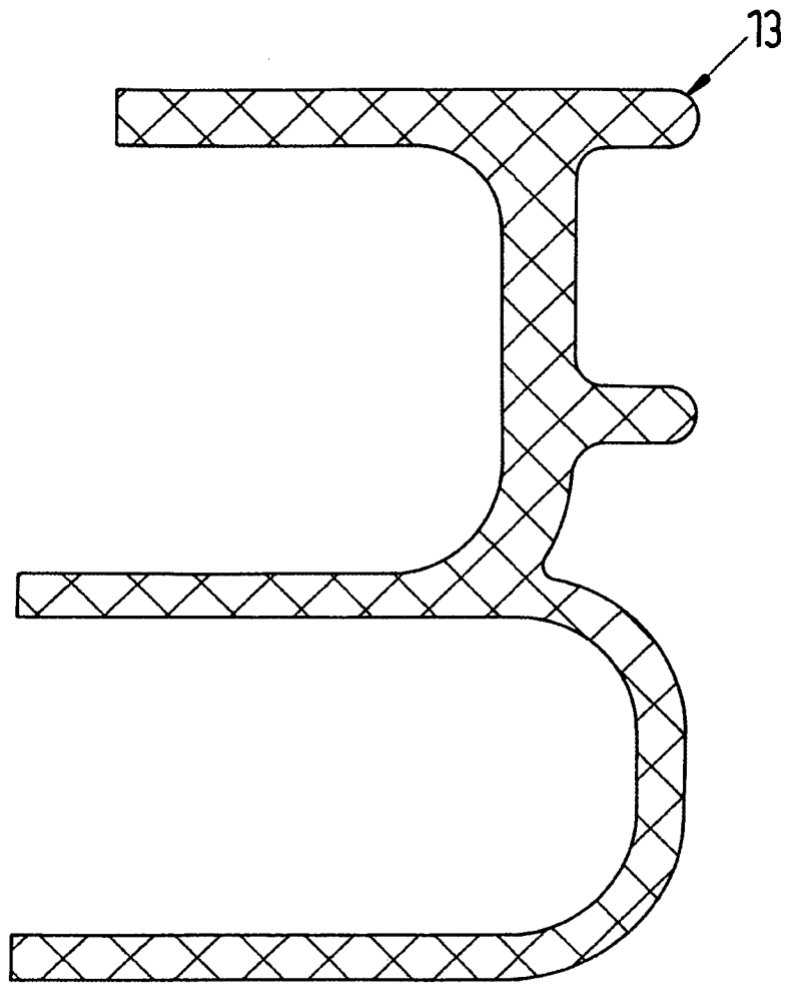


Fig.9