

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 682 276**

51 Int. Cl.:

**G01R 15/18** (2006.01)

**H02H 3/32** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2012 PCT/DE2012/000697**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.01.2013 WO13007240**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2012 E 12758391 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 2732293**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para medir corrientes eléctricas con ayuda de un transformador de corriente**

30 Prioridad:  
**14.07.2011 DE 102011107721**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.09.2018**

73 Titular/es:  
**EAN ELEKTROSCHALTANLAGEN GMBH  
(100.0%)  
Broner Ring 30  
04668 Grimma, DE**

72 Inventor/es:  
**RATHSMANN, STEFAN**

74 Agente/Representante:  
**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 2 682 276 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 y dispositivo para medir corrientes eléctricas con ayuda de un transformador de corriente

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para medir corrientes eléctricas con ayuda de un transformador de corriente. En particular, la invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para medir corrientes diferenciales eléctricas, que además de la proporción de corriente alterna también contienen una proporción de corriente continua y con ello son corrientes mixtas.

**Estado de la técnica**

La medición de corrientes diferenciales y/o corrientes de defecto es un deseo importante en el campo de la técnica de seguridad de instalaciones industriales y dispositivos eléctricos, en particular para la protección del ser humano frente a choques eléctricos, pero también para la protección de máquinas, instalaciones industriales y dispositivos eléctricos frente a un funcionamiento incorrecto y daños debidos a flujos de corriente no deseados o incorrectos. Un ejemplo de la posible aparición de tales flujos de corriente no deseados son los denominados fallos a tierra. En el caso de un fallo a tierra, un conductor eléctrico tiene una conexión eléctricamente conductora no voluntaria con el potencial de tierra, es decir entre el conductor y el potencial de tierra existe una ligera resistencia eléctrica. A través de esta resistencia fluye una corriente eléctrica, la corriente de defecto o corriente diferencial. Esto representa una alteración y un gran peligro en el caso de superar valores límite durante el funcionamiento del dispositivo eléctrico.

Para prevenir un peligro de este tipo se determinan la existencia así como la magnitud de corrientes diferenciales o corrientes de defecto dentro del dispositivo. En el caso de la corriente de defecto se diferencia entre la corriente de defecto continua lisa y la corriente de defecto continua pulsatoria así como la corriente de defecto alterna. Para registrar la corriente de defecto alterna se emplean transformadores de corriente inductivos o transformadores de corriente total. Un transformador de corriente inductivo o un transformador de corriente total presenta en general un núcleo de transformador ferromagnético, en el que está dispuesta una bobina de transformador, por ejemplo un hilo de cobre recubierto, como arrollamiento secundario. Para registrar por ejemplo una corriente diferencial se agrupan la línea de alimentación y línea de retorno de circuitos eléctricos en cuestión del dispositivo eléctrico y se hacen pasar juntas en paralelo a través de un transformador de corriente. La línea de alimentación eléctrica y la línea de retorno forman juntas el arrollamiento primario del transformador de corriente, no teniendo que enrollar el arrollamiento primario obligatoriamente varias veces o una vez el núcleo de transformador ferromagnético, sino que en general puede consistir en conductores insertados únicamente de manera recta a través del centro del núcleo de transformador. A este respecto, en el caso de los conductores simplemente insertados se trata más exactamente de una espira, que sin embargo se cierra a una gran distancia del núcleo de transformador.

En el caso del funcionamiento debido del dispositivo eléctrico, es decir en el caso de una resistencia eléctrica suficientemente grande entre los conductores eléctricos y el potencial de tierra, se suprimirá la suma de las corrientes en la línea de alimentación eléctrica y línea de retorno insertadas a través del transformador de corriente y por consiguiente el transformador de corriente no proporcionará ninguna señal. Sin embargo, en el caso de existir flujos de corriente no deseados dentro del dispositivo eléctrico se mide una corriente diferencial finita.

Los transformadores de corriente inductivos son, como los transformadores, sensibles únicamente para corrientes alternas eléctricas, no proporcionando sin medidas adicionales una corriente continua ninguna señal adecuada. Sin embargo, dado que en la práctica principalmente también resulta interesante la medición de la proporción de corriente continua de la corriente diferencial, por ejemplo debido al peligro elevado de corriente continua para el ser humano, se han propuesto diferentes dispositivos que presentan un transformador de corriente, que también pueden, además de la proporción de corriente alterna, medir también la proporción de corriente continua de corrientes diferenciales.

Por el documento DE102005028881 B4 se conoce un analizador de corriente de defecto para registrar corrientes de defecto y un dispositivo con transformadores de corriente total inductivos para registrar una corriente de defecto alterna y una corriente continua pulsatoria, en el que por medio de filtración y división de la señal de corriente diferencial registrada en señales parciales de baja frecuencia y de alta frecuencia y su análisis pueden detectarse corrientes de defecto, que habitualmente no pueden registrarse con tales transformadores de corriente total inductivos. Además se propone una calibración del analizador de corriente de defecto a través de una alimentación de una corriente de defecto conocida y que puede ajustarse de manera dirigida a través de un arrollamiento adicional en el transformador de corriente total. Sin embargo, a este respecto no se mide ninguna corriente continua lisa.

Por el documento DE 102 37 342 A1 se conocen un procedimiento y un dispositivo para la monitorización de corrientes de defecto en redes de corriente alterna, en el que a través sensores de corriente se registran y se digitalizan las corrientes y posteriormente se calcula la corriente total. En función de la relación de fase con respecto a la tensión tiene lugar la división de la corriente total en proporciones de corriente activa y de corriente reactiva, de

modo que se hace posible una ponderación en función de la frecuencia de las corrientes totales, que corresponden a la corriente alterna de defecto. Las corrientes continuas de defecto solo pueden registrarse en el caso de usar sensores de corriente con capacidad para corriente continua. A este respecto, para registrar una corriente diferencial comparativamente pequeña de por ejemplo  $10 A + (-9,99 A) = 10 \text{ mA}$  se requieren sin embargo, para hacer posible

5 en todo caso una realización práctica, sensores de corriente muy exactos y caros.

Además, para medir corrientes mixtas y especialmente corrientes de defecto continuas lisas con ayuda de transformadores de corriente inductivos se conocen procedimientos, que aprovechan la no linealidad entre la densidad B de flujo magnético y la intensidad H de campo según la curva B(H) de histéresis o de magnetización del

10 núcleo de transformador ferromagnético. Más exactamente se aprovecha el hecho de que el núcleo de transformador con una corriente creciente a través de los conductores primarios, es decir una tensión magnética creciente, alcanza una saturación, con lo que se obtiene como resultado un aplanamiento del aumento de la curva B(H) de magnetización hacia corrientes primarias mayores y por consiguiente una dependencia de la permeabilidad de la corriente que fluye a través del conductor primario. A este respecto, desde el punto de vista de la técnica de

15 medición, el valor momentáneo de la corriente diferencia presentes establece por tanto qué punto se adopta en la curva de magnetización del núcleo de transformador, determinando el aumento  $\text{dB/dH}$  del punto adoptado en la curva de magnetización la inductancia diferencial de la bobina en el circuito de corriente secundario del transformador de corriente, que se mide entonces mediante circuitos adecuados.

20 En los documentos DE19943802 o EP1212821 se usa el principio de la inductancia controlada. A este respecto, variaciones de la inductancia de bobina se reconocen mediante la asintonía de un circuito resonante. En el documento DE19943802 se usa el principio del circuito de transductor, actuando la corriente diferencial como corriente de control del transductor. Al aparecer una corriente de defecto continua se desplaza la magnetización del núcleo de hierro, con lo que se varía la inductancia de bobina. A este respecto, variaciones de la inductancia de

25 bobina se reconocen mediante la asintonía de un circuito resonante. Ejemplos adicionales del empleo del principio de la inductancia controlada se describen en los documentos DE3642393 A1 y DE3543985 A1.

Además se conoce usar una bobina depositada encima como componente de realimentación y que determina la frecuencia de un multivibrador. Este aplica a la bobina una tensión alterna rectangular de tal manera que el núcleo de transformador ferromagnético siempre oscila entre sus dos flujos magnéticos de saturación. A este respecto, a

30 través de la bobina fluye una corriente de magnetización. En el caso de la forma adecuada de la curva de magnetización del material del núcleo de transformador puede conseguirse en un dispositivo de este tipo, que el intervalo de flujo magnético que recorre el núcleo de transformador sea prácticamente independiente del valor momentáneo de la corriente diferencial. De esto resulta que cada tensión magnética generada por la corriente

35 diferencial a través del núcleo de transformador se compensa mediante una tensión inversa magnética generada por la bobina. Es decir, a la corriente de magnetización del multivibrador se le solapa una corriente inversa proporcionar a la corriente diferencial, que se mide entonces mediante circuitos adecuados.

40 En el documento DE19826410 A1 se representa el diagrama de bloques de un sensor de corriente diferencial sensible a todas las corrientes, estando implementado el multivibrador con dos bobinas depositadas encima.

En el documento EP1267467 A2 se describe un circuito oscilante de modulación, en cuyo caso se trata de un multivibrador con una bobina. En este caso, mediante una resistencia en el circuito de corriente de magnetización se consigue que la corriente inversa influya en la relación de amplitud de impulso de la tensión alterna rectangular

45 generada. A este respecto, en el documento EP1267467 A2 se explica que, en los procedimientos descritos, debido a proporciones de corriente diferencia de mayor frecuencia, puede producirse una infracción del teorema de muestreo de Shannon. Según la solución en el mismo, se propone compensar la tensión magnética generada por proporciones de corriente diferencial de mayor frecuencia en el núcleo de transformador, por ejemplo del multivibrador, mediante una tensión magnética opuesta. A este respecto, la tensión opuesta se genera por una

50 bobina depositada encima adicionalmente, que está interconectada con un transformador de corriente adicional, que funciona inductivamente, a través de un filtro paso alto. Mediante esta medida se evitan en el multivibrador efectos sierra (*aliasing*) entre las proporciones de corriente diferencial de mayor frecuencia y la frecuencia del multivibrador.

Por el documento DE 3534 985 A1 y el documento DE 3 543 948 B1 se conoce un interruptor de protección de corriente de defecto para registrar todas las corrientes, que consiste en dos transformadores de corriente total. A este respecto, un transformador de corriente total transforma corrientes pulsantes y alternas y un segundo transformador de corriente total registra la corriente continua.

Por el documento DE29705030 se conoce un interruptor de protección de corriente de defecto para registrar todas las corrientes con un transformador de corriente total. A este respecto, un transformador de corriente total está

60 realizado con dos circuitos de evaluación separados para corriente pulsante o alterna y corriente continua, accionándose estos a través de temporizadores o filtros. El transformador de corriente se hace funcionar para ello o bien de manera alternante a través de señales de temporización con los circuitos de evaluación o bien está conectado al mismo tiempo a través de filtros con ambos circuitos de evaluación.

65 El documento EP0284472-A1 describe un dispositivo y un procedimiento para la medición de corriente,

compensándose un flujo magnético aplicado sobre un núcleo magnético de un transformador en respuesta a la amplitud y la duración de componentes de corriente de una bobina secundaria de polaridad opuesta. A este respecto, la integral de la corriente secundaria es una medida de las fluctuaciones de flujo del núcleo magnético, comparándose la duración de las fluctuaciones de flujo positivas y las negativas.

En las soluciones conocidas con transformadores de corriente inductivos resulta desventajoso que el registro de la corriente de defecto continua tenga lugar indirectamente a través de la evaluación de la proporción de corriente alterna, al determinarse variaciones de la inductancia. Esto conduce a una complicación de la evaluación y de la interconexión. Además deben cumplirse requisitos elevados con respecto al arrollamiento de bobina y el material de núcleo. Además, con frecuencia el esfuerzo de cableado para los transformadores de corriente descritos para registrar corrientes mixtas es mayor que para registrar corrientes alternas. En algunas realizaciones, una parte de la electrónica de medición está alojada en la carcasa de transformador, lo que hace necesario un abastecimiento de corriente. Otras realizaciones trabajan con dos bobinas sobre el núcleo de transformador y requieren una conexión de cuatro conductores.

En general, todo esto limita la posibilidad de reajustar transformadores de corriente ya presentes o ya incorporados en instalaciones eléctricas para registrar corriente alterna a registrar corriente mixta.

Además puede implementarse una medición de corrientes mixtas en el intervalo de los amperios alternativamente también con ayuda de elementos Hall, encontrándose en tales transformadores de corriente Hall el elemento Hall en el entrehierro de un núcleo de hierro ferromagnético. Una corriente en el conductor primario comprendido por el núcleo conduce a un flujo magnético a través del elemento Hall y a una tensión Hall evaluable. Con frecuencia trabajan los transformadores de corriente Hall según el principio de compensación. Para ello, sobre el núcleo de transformador está depositada una bobina. Esta se activa por un circuito de regulación conectado con el elemento Hall, de tal manera que el flujo magnético a través del elemento Hall es siempre igual a cero. Cada tensión magnética generada por el conductor primario comprendido se compensa mediante una tensión inversa. La corriente inversa necesaria para ello a través de la bobina es proporcional a la corriente del conductor primario y es la señal de salida de tales transformadores.

Sin embargo, los transformadores de corriente Hall no son adecuados para la medición de corrientes diferenciales, que pueden encontrarse en el intervalo de 10 mA.

### **Planteamiento**

La invención se basa en el objetivo de crear un procedimiento de medición adecuado para corrientes mixtas y un dispositivo de medición asociado al mismo, que trabaje con los mismos transformadores de corriente, que se utilizan habitualmente para medir corrientes de defecto alternas.

### **Divulgación de la invención**

Según la invención se proporcionan un procedimiento y un dispositivo asociado al mismo para medir corrientes según las reivindicaciones independientes.

Una idea en la que se basa la invención, llevada a la práctica ventajosamente, puede considerarse trasladar el principio de compensación empleado en transformadores de corriente Hall a transformadores de corriente inductivos. Por tanto, el flujo magnético, es decir el flujo magnético concatenado con la bobina en el núcleo de transformador, se mantiene automáticamente constante independientemente de la corriente diferencial que aparece y se mide la corriente inversa equivalente a la misma a través de la bobina. De este modo puede determinarse la proporción de corriente continua y de alterna de la corriente diferencial mediante la corriente continua secundaria.

En el procedimiento según la invención se compensa en el circuito de corriente secundario de un transformador de corriente la resistencia óhmica de la bobina con ayuda de un dipolo activo controlable que forma una resistencia óhmica negativa, de modo que se mantiene la proporción de corriente continua de una corriente secundaria inducida por una corriente primaria en la bobina secundaria. Además, para la producción de un flujo magnético definido en el núcleo de transformador se lanza una secuencia de impulsos predeterminada a través de la bobina, magnetizándose el núcleo de transformador mediante la aplicación de un primer impulso de tensión o de una corriente a una bobina del transformador hasta el flujo de saturación. A continuación, mediante la aplicación de un impulso de tensión adicional de polaridad inversa y de área de tensión-tiempo definida se reduce de nuevo el flujo magnético.

Se crea también un dispositivo para medir corrientes eléctricas, que está configurado para su acoplamiento con los terminales secundarios de la bobina de un transformador de corriente y, en relación con el transformador de corriente, para realizar el procedimiento según la invención.

Además se proporciona un sistema para medir corrientes eléctricas, que presenta un transformador de corriente y el dispositivo según la invención.

Dicho de manera comprensible, según un principio de la invención, mediante un circuito electrónico se forma un dipolo activo, que con respecto a la tensión y la corriente presenta el comportamiento de una resistencia óhmica negativa, estando este dipolo conectado con la bobina y dimensionado y regulándose a través de la señal de medición de tal manera que la magnitud de su resistencia negativa correspondiente a la resistencia  $R_{cu}$  de bobina óhmica. La resistencia  $R_g$  óhmica total del circuito de corriente secundaria de la conexión en serie de bobina y dipolo se vuelve de ese modo cero. Debido a esta compensación de resistencia, la bobina sobre el núcleo se comporta casi como un conductor ideal y contrarresta cada variación temporal del flujo magnético concatenado con la misma.

La acción de la invención puede comentarse mediante la fórmula, que la evolución temporal de una corriente continua en un circuito de corriente de una inductancia y una resistencia óhmica. Para el circuito de corriente secundaria, la fórmula tiene la siguiente forma:

$$I_s(t) = I_{s_0} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \text{ siendo } T = \frac{L_s}{R_g} \text{ y } R_g = R_{cu} + R_z \quad (1)$$

A este respecto,  $I_{s_0}$  es el valor inicial de la corriente continua secundaria,  $L_s$  la inductancia de bobina,  $R_{cu}$  la resistencia óhmica de la bobina secundaria,  $R_z$  la resistencia de dipolo negativa y  $T$  la constante de tiempo del circuito de corriente. Mediante la compensación de resistencia según la invención, la resistencia  $R_g$  óhmica total del circuito de corriente secundaria tiende a cero y con ello la constante de tiempo  $T$  tiende a infinito, de modo que la función exponencial con un tiempo  $t$  finito mantiene el valor 1. Dado que la inductancia forma parte de un transformador y por tanto existe un acoplamiento inductivo con los conductores primarios comprendidos por el núcleo de transformador, en el caso del valor inicial de la corriente continua secundaria  $I_{s_0}$  se trata de la corriente diferencial transformada. Es decir, si en primer lugar  $I_s = 0$  y entonces empieza a fluir una corriente continua diferencial, se genera una corriente continua secundaria, que no disminuye debido a la constante de tiempo infinita.

Por medio de la compensación de resistencia según la invención descrita puede garantizarse de manera ventajosamente fiable, que a partir de la corriente secundaria medida del transformador de corriente pueda determinarse la magnitud correcta de la corriente continua secundaria o corriente inversa real, que corresponde a la corriente mixta de los conductores primarios.

Esto se consigue en particular mediante la secuencia de impulsos según la invención de impulsos de tensión, que se lanza a través de la bobina durante pausas de medición periódicas. Mediante la secuencia de impulsos se produce un flujo magnético definido en el núcleo de transformador, al aplicar a la bobina en primer lugar una tensión continua en forma de un impulso de tensión hasta que el núcleo de transformador ha alcanzado de manera segura su flujo magnético de saturación o flujo de saturación, con lo que entonces está disponible un punto de referencia, dado que en saturación la curva de magnetización del material de núcleo discurre de manera muy plana ( $dB/dH$  reducida) y el flujo de saturación es por consiguiente prácticamente independiente de la corriente diferencial y de la secundaria. Según la invención, entonces partiendo de este punto de referencia más un pequeño retardo de tiempo por medio de la aplicación de un impulso de tensión de polaridad inversa y de área de tensión-tiempo definida se produce un flujo magnético definido, con lo que se pone a disposición un flujo magnético residual. Por tanto, el procedimiento según la invención puede aplicarse independientemente del instante de inicio, y así de manera prácticamente por primera vez: puesto que la compensación de resistencia debe activarse en algún instante, en el que ya puede fluir una corriente diferencial, por ejemplo el instante del arranque del aparato del dispositivo según la invención. A partir de este instante, aunque al usar únicamente la compensación de resistencia el flujo magnético en el núcleo de transformador se mantendría constante, sería desconocido. Más exactamente, en la evolución adicional de la corriente secundaria no correspondería necesariamente de manera exacta a la corriente inversa de interés, que genera la tensión inversa magnética con respecto a la corriente diferencial. Más bien, la corriente secundaria es la suma de la corriente inversa y una corriente continua de magnetización, que mantiene el flujo magnético existente hacia la resistencia magnética del núcleo. Según la invención, esta corriente continua de magnetización está asociado al flujo magnético residual, es decir al flujo magnético producido de manera definida, y se denomina a continuación corriente residual.

A este respecto, la invención es adecuada para medir corrientes mixtas de alto amperaje así como en el intervalo de por ejemplo menos de 10 mA. Un experto en la técnica reconoce que la invención puede aplicarse ventajosamente en un gran número de transformadores diferentes. En particular, la invención puede aplicarse en transformadores convencionales para la medición de corriente diferencial, que presentan habitualmente un núcleo de un material altamente permeable, magnético suave, y una bobina secundaria con de 500 a 1000 espiras con una conexión de dos conductores. Estos se ofrecen por muchos fabricantes en las formas constructivas más diversas, de modo que está disponible una gran gama. En instalaciones eléctricas están presentes con frecuencia ya dispositivos para la monitorización de corrientes de defecto alternas, que conservando los transformadores convencionales podrían ampliarse con poco esfuerzo para monitorizar y registrar corrientes mixtas. Por consiguiente, la invención conduce a reducciones de coste y posibilita en última instancia una utilización más amplia de monitorizaciones de redes con una proporción creciente condicionada técnicamente de corrientes mixtas.

Formas de realización ventajosas de la invención se obtienen de la descripción y de las reivindicaciones

dependientes adjuntas.

5 Según una forma de realización de la invención, el área de tensión-tiempo del impulso de tensión adicional se selecciona y siguiendo al impulso de tensión adicional se aplica un tercer impulso de tensión definido con polaridad inversa al impulso de tensión adicional, de tal manera que en el transformador se alcanza un punto de trabajo, en el que con una corriente de magnetización pequeña en relación con la corriente de saturación, la inductancia diferencial del transformador es lo más grande posible.

10 Por consiguiente se sigue una secuencia de desmagnetización, con la que debido a los tres impulsos de tensión especiales se alcanza un ajuste óptimo de corriente residual y flujo magnético residual. De este modo puede aumentarse adicionalmente la sensibilidad de medición.

15 Según un perfeccionamiento de la invención, la corriente de magnetización, que corresponde al flujo magnético definido producido en la bobina, se determina de una manera tal, al aplicar la secuencia de impulsos con una frecuencia predeterminada de manera alternante, con signos en cada caso inversos, para ambas polaridades de saturación. Después se determina la amplitud de la corriente alterna de magnetización rectangular generada.

20 Así se aplica el procedimiento de manera favorable varias veces unas detrás de otras y puede aumentarse la exactitud de medición. Esto se favorece también porque debido a la frecuencia aplicada hay longitudes de intervalo definidas. Además se obtienen datos con polaridad tanto positiva como negativa, lo que aumenta adicionalmente la exactitud que puede alcanzarse en total.

25 Preferiblemente se forman periódicamente ciclos de medición con un tiempo de ciclo, que en cada periodo presenta un intervalo de tiempo con tiempo de desmagnetización y un intervalo de tiempo con tiempo de medición.

Según una forma de realización ventajosa de la invención se determina una señal de medición, que se extrae opcionalmente de la evolución de la corriente eléctrica que fluye en el circuito secundario del transformador o de una caída de tensión en el circuito secundario del transformador.

30 De este modo puede proporcionarse ventajosamente información de señalización adicional, que se estudia por ejemplo en cuanto a su evolución temporal, lo que mejora el resultado de medición.

La señal de medición puede determinarse o generarse, por ejemplo, por medio de un filtro.

35 Según un perfeccionamiento de esta forma de realización ventajosa se determinará la amplitud de la corriente alterna de magnetización rectangular generada y se generará una señal de corrección, que en la evolución y la amplitud corresponde a una corriente alterna de magnetización rectangular, y la señal de medición puede corregirse de manera correspondiente restando la señal de corrección determinada.

40 De este modo puede conseguirse de manera favorable que el procedimiento se realice en su mayor parte independientemente de una dispersión unitaria, una dependencia de la temperatura de los núcleos de transformador, etc. Dado que concretamente durante la medición de corriente se determina explícitamente la corriente residual, se reduce el error sistemático. Como resultado de esta compensación de corriente residual que la corriente inversa pura, que puede suministrarse entonces a una formación de valores eficaces u otro procesamiento.

45 En este perfeccionamiento se aprovecha que cuando se pasa por la secuencia de desmagnetización según la invención de manera alternante y cíclica con saturación positiva y negativa, debido a la simetría de la curva de magnetización tras ambas secuencias de desmagnetización que la misma corriente residual pero con signo inverso. Más exactamente, en la evolución temporal de la corriente secundaria aparece una corriente alterna de magnetización rectangular con una frecuencia  $f_z$  de ciclo, que está solapada a la corriente inversa generada por la corriente diferencial. Su amplitud puede determinarse por ejemplo de manera sencilla mediante una correlación de la corriente secundaria con una señal sinusoidal con frecuencia de ciclo y con sincronía de ciclo.

50 Según una forma de realización de la invención, una señal de medición se afina para un procesamiento adicional de tal manera que se proporcionan intervalos de tiempo en la señal de medición, que corresponden a un intervalo de tiempo de la secuencia de impulsos predeterminada, con un valor constante predeterminado, en particular con el valor cero.

55 En esta forma de realización ventajosa se aumenta la exactitud intrínseca que puede conseguirse, dado que se eliminan en su mayor parte los efectos que resultan de la evolución predeterminada de los impulsos, pero no aportan nada a la medición de la corriente inversa de interés sino que más bien molestan.

60 La señal de medición puede multiplicarse con una función de ventana, en particular una señal sinusoidal con frecuencia de ciclo y con sincronía de ciclo.

65 De este modo pueden reducirse o evitarse ventajosamente flancos muy inclinados en la señal de medición, y

reducirse la amplitud de vibraciones armónicas de orden superior a un valor pequeño, lo que durante la evaluación de la medición de la corriente mixta conlleva habitualmente una fuerte simplificación.

5 Según otro perfeccionamiento ventajoso se regula la magnitud de la resistencia óhmica negativa generada mediante una compensación incompleta o compensación excesiva determinada de la resistencia óhmica de la bobina secundaria.

10 Por consiguiente pueden reconocerse incluso variaciones de flujo magnético temporales reducidas, pero que a lo largo del tiempo pueden provocar una desviación considerable de la corriente de magnetización existente durante la activación de la compensación de resistencia, y tenerse en cuenta durante el cálculo de la corriente continua diferencia de interés. Por tanto se aumenta adicionalmente la fiabilidad del procedimiento, dado que incluso en el caso de una compensación de resistencia que no trabaje exactamente en la práctica, todavía puede conseguirse una corriente de magnetización constante.

15 Preferiblemente se determina una compensación incompleta o compensación en exceso de la resistencia óhmica de la bobina secundaria, al determinar a partir de la señal de medición la amplitud de un componente armónico, que aparece en el caso de la desviación de una corriente alterna de magnetización rectangular con respecto a una forma de señal rectangular.

20 Con ello se favorece especialmente un procesamiento y un cálculo del resultado de medición por medio de un procesador.

La corriente que debe medirse puede determinarse ahora ventajosamente a partir de la señal de medición y de la compensación incompleta o compensación en exceso determinada.

25 Según todavía un perfeccionamiento ventajoso de la invención se determina una tensión de desplazamiento que aparece en el circuito secundario, provocada en particular por los componentes electrónicos usados, y a continuación se compensa.

30 Con ello se posibilita compensar también la dependencia de la temperatura y las dispersiones unitarias de los componentes electrónicos del dispositivo según la invención, y se permite y se favorece un procesamiento exacto:

35 Así, el circuito de corriente secundario se forma a partir de la bobina y diferentes circuitos electrónicos, requiriéndose de estos circuitos que puedan procesar exactamente señales continuas. Si una corriente secundaria fluye a través del dipolo, se requiere que este configure una caída de tensión proporcionar a la corriente secundaria, lo que significa, entre otros, que la caída de tensión se vuelve igual a cero, cuando la corriente secundaria es igual a cero. Sin embargo, un procesamiento de señales continuas exacto sin una compensación correspondiente conduce en la práctica a menudo a dificultades por ejemplo debido a tolerancias o la dispersión unitaria y dependencia de la temperatura de componentes electrónicos activos. En el caso de amplificadores operacionales, con los que se implementan ventajosamente los circuitos del circuito de corriente secundario, este problema se manifiesta en forma de la tensión de desplazamiento. Esta tensión es diferente de espécimen a espécimen y depende de la temperatura. Una tensión de desplazamiento en los amplificadores operacionales del dipolo conduce a que a la caída de tensión proporcional a la corriente encima del dipolo esté solapada una pequeña tensión continua no deseada. La fuente de tensión y el registro de corriente introducen por el mismo motivo igualmente tensiones continuas no deseadas en el circuito de corriente secundario. Estas se compensan ahora ventajosamente según la invención.

45 Se prefiere que el valor de la tensión de desplazamiento se determine por medio de correlación, al determinar a partir de la señal de medición la amplitud de un componente armónico, que no aparece ni en una señal rectangular ni en una señal en forma de diente de sierra doble.

50 Con ello puede determinarse la tensión de desplazamiento de manera favorable por ejemplo por medio de un procesador.

55 Según una forma de realización ventajosa, la bobina magnética para emitir la secuencia de impulsos predeterminada a través del núcleo de transformador es la bobina secundaria del transformador.

Con ello puede conseguirse de manera económica la medición de la corriente mixta con solo una bobina, además del conductor de corriente primario. A este respecto, la bobina secundaria se usa tanto para generar la secuencia de impulsos como para la compensación de la resistencia.

60 Alternativamente, la invención se aplica a un transformador con bobinas adicionales. En todavía otra forma de realización se utilizan varios transformadores de corriente con en cada caso uno o varios arrollamientos, con lo que puede aumentarse adicionalmente de manera ventajosa la redundancia y la seguridad. Puede usarse por ejemplo otro arrollamiento según la invención y emitir la secuencia de impulsos predeterminada, mientras que el arrollamiento secundario se usa para mediciones.

65

En una forma de realización de la invención, el dispositivo presenta al menos una fuente de tensión controlable y al menos un registro de corriente, que están conectados con un control.

5 Además, el dispositivo tiene preferiblemente un regulador para la compensación de resistencia para adaptar el valor de resistencia negativo del dipolo en función de la temperatura.

En una forma de realización ventajosa especial, el control está implementado con un microcontrolador.

10 A este respecto, la invención puede estar realizada de manera económica y además pequeña y compacta, dado que el procesamiento tiene lugar exclusivamente por medio de software o firmware prescindiendo de módulos electrónicos mayores.

15 Según la invención se proporciona también un procedimiento para medir corrientes eléctricas con ayuda de un transformador de corriente con las siguientes etapas: ampliar el circuito del circuito secundario del transformador de corriente con un dispositivo eléctrico, de modo que un dipolo activo que forma una resistencia óhmica negativa y un registro de corriente en el circuito secundario del transformador se conectan en serie, y una fuente de tensión en el circuito de corriente está conectada en serie a una bobina magnética del transformador, y una unidad de control está conectada con el registro de corriente y con la fuente de tensión; leer el registro de corriente así como activar la fuente de tensión por medio de la unidad de control, para realizar el procedimiento según la invención; y emitir una señal de salida desde la unidad de control, que contiene la proporción de corriente continua así como la proporción de corriente alterna de una corriente primaria eléctrica del transformador.

20

25 La invención puede utilizarse en todos los campos de aplicación técnicos, en los que se miden corrientes mixtas. Aunque es adecuada en particular ventajosamente para medir corrientes diferenciales o corrientes de defecto en un dispositivo eléctrico, que además de una proporción de corriente alterna también contienen una proporción de corriente continua, esto no debe representar ninguna limitación del campo de aplicación de la invención.

### Dibujos

30 A continuación se describirá más detalladamente la invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Muestran:

- la figura 1 un diagrama de circuito de un transformador de corriente en relación con la compensación de resistencia según la invención,
- 35 la figura 2 una curva de magnetización idealizada,
- la figura 3 un diagrama corriente-tiempo de la evolución de una corriente secundaria a través de un ciclo de medición según una forma de realización de la invención,
- 40 la figura 4 un diagrama tensión-tiempo de la evolución de una tensión de bobina a través de un ciclo de medición, según la forma de realización mostrada en la figura 3,
- la figura 5 una curva de magnetización con remanencia, con la secuencia de impulsos según otra forma de realización de la invención,
- 45 la figura 6 la evolución temporal de una señal de corte rectangular según una forma de realización de la invención,
- la figura 7 la evolución temporal de una función de ventana con frecuencia de ciclo y sincronía de ciclo según la forma de realización mostrada en la figura 6,
- 50 la figura 8 una señal sinusoidal con huecos según la forma de realización mostrada en la figura 6 y la figura 7,
- la figura 9 un diagrama corriente-tiempo de la corriente secundaria en el caso de una compensación de resistencia y de desfase exacta, asumiéndose la corriente inversa como cero según una forma de realización de la invención,
- 55 la figura 10 un diagrama corriente-tiempo de la corriente secundaria en el caso de una compensación errónea de la resistencia de bobina según una forma de realización de la invención,
- 60 la figura 11 un diagrama corriente-tiempo de una señal en forma de diente de sierra doble en el caso de una compensación errónea de la resistencia de bobina según la forma de realización mostrada en la figura 10,
- 65 la figura 12 un diagrama corriente-tiempo de una señal en forma de diente de sierra en el caso de una compensación errónea de la tensión de desplazamiento según una forma de realización de la

invención,

la figura 13 un diagrama de bloques del dispositivo según la invención para realizar el procedimiento según una forma de realización,

la figura 14 una forma de realización preferida del dispositivo según la invención, y

la figura 15 una vista en detalle de la compensación de resistencia según la invención con dipolo activo según una forma de realización de la invención.

En la figura 1 se muestra el diagrama de circuito de un transformador de corriente con la compensación de resistencia según la invención según una forma de realización de la invención. La bobina 3 presenta una inductancia  $L_s$  de bobina y una resistencia  $R_{cu}$  de bobina. El transformador de corriente monitoriza los conductores 2 primarios para determinar la presencia de una corriente diferencial. En el circuito 4 de corriente secundario fluye la corriente  $I_s$  secundaria. La caída  $U_s$  de tensión de la bobina se compone de la tensión  $U_i$  de inducción y la caída  $U_{cu}$  de tensión por encima de la resistencia de bobina óhmica. Para la medición de corriente diferencial con ayuda del transformador de corriente se compensa en el circuito 4 de corriente secundario la resistencia  $R_{cu}$  de bobina óhmica de la bobina 3 con ayuda de un dipolo activo que forma una resistencia  $R_z$  óhmica negativa. De esta manera se mantiene una proporción de corriente continua de una corriente  $I_s$  secundaria inducida por una corriente 2 primaria en la bobina 3.

Según la ley de las mallas es aplicable para la suma de todas las tensiones parciales en la figura 1:

$$\begin{aligned} 0 &= U_i + U_{cu} + U_s \\ 0 &= U_i + R_{cu} \cdot I_s + R_z \cdot I_s \end{aligned} \quad (1)$$

A este respecto, la tensión  $U_i$  de inducción es la tensión inducida en la bobina,  $U_s$  la tensión de bobina y  $I_s$  la corriente secundaria. Debido a la compensación de resistencia  $R_z = -R_{cu}$ . De esto se deduce:

$$0 = U_i \quad (2)$$

Es decir, la tensión inducida es independientemente de la corriente secundaria igual a cero. De la ley de inducción resulta entonces para la variación temporal del flujo  $\Phi$  magnético concatenado con la bobina:

$$-\frac{d\Phi}{dt} = U_i = 0 \quad (3)$$

Es decir, el flujo magnético que atraviesa la bobina se mantiene constante independientemente de la corriente  $I_s$  secundaria y con ello también independientemente de la corriente diferencial. Si el flujo magnético es a su vez constante, la suma de las tensiones magnéticas generadas a través del núcleo tiene que ser constante. De esto se deduce que a cada variación de la corriente diferencial se le opone una variación proporcional de la corriente  $I_s$  secundaria. En el caso especial en el que el flujo magnético tiene el valor cero, se obtienen las mismas relaciones que en el transformador de corriente de Hall de compensación. Cada corriente diferencial y en particular corriente continua tiene una corriente inversa proporcional a través de la bobina como consecuencia.

En la figura 2 se representa una curva de magnetización idealizada conocida sin histéresis con saturación ideal. En esta, el material de núcleo está libre de remanencia y presenta entre las dos densidades de flujo de saturación una permeabilidad constante. Al alcanzar la saturación, la permeabilidad se vuelve repentinamente cero. Esta curva de magnetización se basa en las evoluciones temporales explicadas a continuación.

Se sigue una secuencia de desmagnetización, de modo que se produce un flujo magnético definido en el núcleo de transformador. Para ello, durante cada secuencia de desmagnetización se le añade una secuencia de impulsos predeterminada a través del núcleo de transformador. En esta secuencia de impulsos se magnetiza el núcleo de transformador mediante la aplicación de un impulso de tensión o de una corriente a la bobina del transformador hasta el flujo de saturación. A continuación se reduce de nuevo el flujo magnético mediante la aplicación de un segundo impulso de tensión de polaridad inversa y de área de tensión-tiempo definida.

Un ejemplo sencillo de un tiempo de ciclo según la invención con secuencias de desmagnetización simétricamente periódicas con tiempo  $t_e$  de desmagnetización y secuencias de medición con tiempo  $t_m$  de medición se describirá a continuación haciendo referencia a la figura 3 a la figura 4. En la presente descripción detallada se parte en primer lugar, para una representación sencilla, de una curva  $B(H)$  de magnetización idealizada, tal como se muestra en la figura 2. En esta el material de núcleo está libre de remanencia y presenta entre ambas densidades  $B_s$  de flujo de saturación una permeabilidad constante. Al alcanzar la saturación  $B_s$ , la permeabilidad se vuelve repentinamente

cero.

En la figura 3 se representa la evolución de la corriente  $I_s$  secundaria a través de un ciclo de medición completo del tiempo  $t_z$  de ciclo, que consiste en las secuencias de desmagnetización del tiempo  $t_e$  de desmagnetización y los intervalos de medición que se encuentran entremedias del tiempo  $t_m$  de medición. La figura 4 muestra la evolución de la tensión  $U_s$  de bobina a través de un ciclo de medición. La corriente diferencial y con ello la corriente inversa se asumen como cero, de modo que la corriente secundaria y la corriente de magnetización son iguales. Debido a la representación más sencilla, las evoluciones se basan en la curva de magnetización idealizada según la figura 2.

La secuencia de desmagnetización positiva, en la que el núcleo se satura con corriente secundaria positiva, empieza con la aplicación del primer impulso de tensión con tensión  $-U_e$  de desmagnetización negativa a la bobina. Partiendo de la corriente  $-I_r$  residual negativa, la corriente secundaria aumenta linealmente. Si se alcanza el flujo de saturación en el núcleo de transformador, la inductancia de bobina se vuelve igual a cero. La corriente secundaria aumenta repentinamente hasta un valor máximo  $+I_b$ , que está predeterminado por una limitación de corriente electrónica. La tensión de bobina disminuye debido a la autoinducción ausente repentinamente de  $-U_e$  a cero. Durante el siguiente impulso de tensión adicional con tensión  $+U_e$  de desmagnetización positiva y de área 1 de tensión-tiempo definida, la corriente secundaria disminuye linealmente hasta la corriente  $+I_r$  residual positiva. La compensación de resistencia mantiene constante en el siguiente intervalo de medición con tiempo  $t_z$  de medición la corriente secundaria al valor  $+I_r$ . Le sigue la secuencia de desmagnetización negativa, que con la aplicación del primer impulso de tensión con tensión  $+U_e$  de desmagnetización positiva empieza con  $+I_r$  y termina con  $-I_r$ .

La secuencia de desmagnetización puede adaptarse una vez al tipo de transformador de corriente usado. En el caso de una tensión  $U_e$  de desmagnetización dada debe establecerse para ello la duración del primer y segundo impulso de tensión. Los siguientes valores orientativos han dado buenos resultados como regla empírica para tiempos de impulso:

$$t_1 = \frac{2\phi_s}{U_e} \quad t_2 = \frac{\phi_s}{2 \cdot U_e} \quad (4)$$

A este respecto,  $t_1$  es la duración del primer impulso de tensión,  $t_2$  la duración del segundo impulso de tensión y  $\Phi_s$  el flujo de saturación del transformador de corriente. El flujo de saturación depende del material de núcleo, el número de espiras y la sección transversal de núcleo (sección transversal de hierro) y puede determinarse electrónicamente.

En la descripción anterior de la secuencia de desmagnetización se partió, debido a la representación más sencilla, de la curva de magnetización idealizada del núcleo según la figura 2. En la práctica, los materiales de núcleo magnéticos suevas, usados para transformadores de corriente diferencial también presentan una cierta intensidad de campo coercitivo. Este hecho tiene efecto sobre la evolución de la corriente de magnetización durante la secuencia de desmagnetización. Si el flujo magnético en el núcleo de transformador atraviesa el valor cero, la corriente de magnetización no es igual a cero como según la figura 2, sino corresponde a la corriente coercitiva. También en la corriente residual, que queda al final de la secuencia de desmagnetización, está contenida una proporción de la corriente coercitiva. Es decir, la corriente residual depende, además del área de tensión-tiempo de la secuencia de desmagnetización, también de la corriente coercitiva del respectivo transformador de corriente. Además del material de núcleo, la longitud (trayectoria de hierro) del núcleo de transformador tiene también influencia sobre la corriente coercitiva. Debido a la dependencia de la longitud, los transformadores de corriente con un diámetro grande presentan por ejemplo a menudo corrientes coercitivas mayores que los transformadores de corriente pequeños. Si la corriente coercitiva típica para transformadores se encuentra claramente (factor 2) por encima de la corriente residual deseada, la corriente residual deseada puede ajustarse solo a través del área de tensión-tiempo de la secuencia de desmagnetización, al seleccionarse un flujo magnético residual cerca del flujo de saturación. Dado que el aumento dB/dH de la curva de magnetización en este intervalo ya se reduce, en el intervalo de medición cerca de la secuencia de desmagnetización está disponible una inductancia diferencial reducida de la bobina. Esto conduce a su vez a una caída más rápida de una corriente continua secundaria en el caso de una compensación de resistencia no exacta. En la fórmula  $I_s(t)$  se introduce la inductancia diferencial como  $L_s$ . Una inductancia  $L_s$  de bobina menor conduce a una constante  $T$  de tiempo menor con una resistencia  $R_g$  óhmica total del circuito de corriente secundario diferente de cero. Por tanto, es deseable que el flujo magnético residual a la corriente residual deseada sea claramente menor que el flujo de saturación, es decir se encuentre en el intervalo de un aumento muy inclinado de la curva de magnetización.

Por tanto, en una forma de realización de la invención se amplía la secuencia de desmagnetización en un tercer impulso de tensión, que se aplica con polaridad de tensión opuesta al segundo impulso de tensión a la bobina. En la figura 5 se dibuja esquemáticamente toda la curva de magnetización de un transformador de corriente. A este respecto,  $\Phi$  es el flujo magnético concatenado con la bobina y  $I_s$  la corriente secundaria. Tras el primer impulso de tensión de la secuencia de desmagnetización, el núcleo está saturado con el flujo de saturación  $+\Phi_s$ . Durante el segundo impulso de tensión, el flujo  $\Phi$  magnético del núcleo de transformador sigue la evolución del trayecto de curva resaltado. En el caso de un flujo magnético justo por debajo de  $+\Phi_s$ , la corriente secundaria tiene ya el valor

de la corriente  $-I_r$  residual. Si el impulso de tensión terminase aquí, se habría ajustado la corriente residual deseada, pero el núcleo se quedaría en un intervalo con un aumento de curva reducido  $d\Phi/dI_s$  y la inductancia diferencial sería reducida. Si el impulso de tensión dura hasta alcanzar  $\Phi=0$ , aunque el núcleo de transformador permanece en un intervalo con un gran aumento de curva, la corriente secundaria tiene casi el valor alto de la corriente  $-I_c$  coercitiva. Mediante el tercer impulso de tensión, que es corto con respecto al primer y al segundo impulso de tensión, se reduce la alta corriente secundaria, aumentado el flujo magnético en el núcleo de transformador solo de manera insignificante. La evolución de la curva se ramifica de la curva de magnetización completa y termina en la corriente  $+I_r$  residual. La secuencia de desmagnetización con tres impulsos de tensión posibilita por consiguiente un ajuste óptimo de la corriente residual y el flujo magnético residual.

En otra forma de realización, durante la secuencia de desmagnetización, es decir durante el tiempo  $t_e$  de desmagnetización, no se determina ninguna corriente inversa y con ello tampoco ninguna corriente diferencial, de modo que la evolución temporal de la señal de medición obtenida de la corriente secundaria presenta por consiguiente con respecto a la evolución de la corriente diferencial real huecos cíclicos. Para el procesamiento adicional estos huecos se llenan con el valor momentáneo cero. Matemáticamente esto corresponde a una multiplicación de la evolución de corriente diferencial con una señal rectangular de corte, como se representa en la figura 6.

Además, la señal de medición con huecos se multiplica antes del procesamiento adicional con una señal sinusoidal con frecuencia de ciclo y con sincronía de ciclo según la figura 7. El producto de la señal de corte anterior y de la función de ventana de forma sinusoidal es una señal sinusoidal con huecos en los pasos de cero según la figura 8.

La figura 9 muestra la corriente alterna de magnetización rectangular, que se genera por las secuencias de desmagnetización cíclicas con polaridad alternante del flujo de saturación. La corriente inversa se asume para la representación como cero, de modo que la corriente secundaria y la corriente de magnetización son iguales. La evolución de la corriente  $I_s$  secundaria durante las secuencias de desmagnetización no está representada. Los huecos que se generan se llenan con el valor de corriente cero.  $t_e$  es el tiempo de desmagnetización,  $t_m$  el tiempo de medición,  $t_z$  el tiempo de ciclo y  $I_r$  la corriente residual.

En todavía otra forma de realización de la invención se realiza el procedimiento con ayuda de un microprocesador, que por medio de análisis de Fourier descompone las señales en componentes armónicos y los evalúa.

En el resto del texto se hace referencia a los componentes armónicos de la corriente alterna de magnetización rectangular de manera correspondiente a la figura 9. Una señal rectangular de este tipo con huecos tiene los siguientes coeficientes para los elementos de coseno ( $C_n$ ) y de seno ( $S_n$ ) de la serie de Fourier.

$$C_n = 0$$

$$S_n = 0 \quad \text{para } n \text{ par} \quad S_n = \frac{4}{\pi n} \cdot \cos(n \cdot b) \quad \text{para } n \text{ impar} \quad \text{siendo} \quad b = \frac{t_e}{t_z} \cdot \pi \quad (5)$$

A este respecto,  $n$  es el múltiplo de la frecuencia de ciclo,  $b$  la media anchura del hueco en la medida de arco. Esta y todas las series de Fourier adicionales en el texto están normalizadas para una amplitud de señal de uno y un periodo de  $2\pi$ .

Sin embargo, en la señal de medición están presentes además frecuencias no deseadas, que resultan de la señal de corte rectangular con huecos mostrada en la figura 6. Más exactamente están presentes las frecuencias no deseadas, dado que la evolución de la corriente de la secuencia de desmagnetización se substituyó por ceros, correspondiendo la substitución matemáticamente de la multiplicación de la evolución de corriente secundaria a un rectángulo y consistiendo el rectángulo desde el punto de vista analítico de muchas frecuencias.

Cada proporción de frecuencia de la señal de corte se multiplica con todas las proporciones de frecuencia de la corriente diferencial, generándose en cada caso frecuencias totales y diferenciales. La medida en la que se generan las proporciones de frecuencia no deseadas depende del espectro de frecuencia de la señal de corte. Su serie de Fourier tiene los siguientes coeficientes para el elemento de coseno  $C_n$  y el de seno  $S_n$ . La señal de corte tiene los siguientes coeficientes de Fourier:

$$C_0 = 1 - \frac{2b}{\pi} \quad C_n = -\frac{4}{\pi n} \cdot \sin(n \cdot b) \quad \text{para } n \text{ par} \quad C_n = 0 \quad \text{para } n \text{ impar}$$

$$S_n = 0 \quad \text{siendo} \quad b = \frac{t_e}{t_z} \cdot \pi \quad (6)$$

A este respecto, n es el múltiplo de la frecuencia de ciclo y b la media anchura del hueco en la medida de arco con respecto a la duración de un ciclo (tiempo de ciclo, tz).

Entonces se obtienen coeficientes pequeños, cuando b es pequeño. Cuando más pequeño sea b, más se asemeja la señal de corte a la señal uno sin huecos, que durante la multiplicación no tiene ningún efecto sobre la señal de medición. Debido a la tensión de desmagnetización limitada en la práctica, el tiempo te de desmagnetización no puede volverse arbitrariamente pequeño. Es decir, un b pequeño presupone un tiempo de ciclo elevado. Un tiempo de ciclo elevado es posible cuando la variación temporal de la corriente de magnetización durante los intervalos de medición también es reducida a una corriente continua diferencial alta. Es decir, una compensación de resistencia lo más exacta posible, que mantiene el flujo magnético constante durante mucho tiempo, es una condición previa para una proporción reducida de frecuencias no deseadas en la señal de medición.

Las proporciones de frecuencia no deseadas pueden reducirse aun adicionalmente mediante el uso de la función de ventana mostrados en la figura 7. Así, la señal sinusoidal con huecos mostrada en la figura 8 tiene los siguientes coeficientes de Fourier.

$$\begin{aligned}
 C_n &= 0 \\
 S_n &= 0 \quad \text{para } n \text{ par} \quad S_1 = 1 - \frac{2}{\pi} \cdot (b - \frac{1}{2} \cdot \text{sen}(2b)) \\
 S_n &= -\frac{1}{\pi(1-n^2)} \cdot (n \cdot \text{sen}(b) \cdot \cos(n \cdot b) - \cos(b) \cdot \text{sen}(n \cdot b)) \quad \text{para } n \text{ impar}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Para mantener una compensación de resistencia lo más exacta posible, según una forma de realización adicional de la invención se reconocen y se compensan de manera continua variaciones de la resistencia de bobina dependiente de la temperatura. Por tanto, la secuencia de desmagnetización está diseñada según la invención, de tal manera que queda una corriente residual suficientemente alta en el circuito de corriente secundaria. De esto se obtiene como resultado la evolución de corriente secundaria rectangular ideal, representada en la figura 9, explicada anteriormente, asumiéndose a su vez la corriente inversa como cero. No se representa la evolución de corriente secundaria de la secuencia de desmagnetización. La corriente secundaria provoca durante el intervalo de medición caídas de tensión por encima de la resistencia de bobina de la bobina y la resistencia del dipolo negativa. En el caso de una compensación errónea, la suma de las tensiones es distinta de cero, lo que conduce a una variación de flujo magnético y por consiguiente a una variación de la corriente secundaria. En el caso de una compensación en exceso, es decir una magnitud demasiado grande de la resistencia negativa, la corriente secundaria aumenta. En el caso de una compensación incompleta o compensación por debajo del límite, disminuye. Se genera la evolución representada en la figura 10, que como suma de la corriente secundaria rectangular originaria de la figura 9 y representada en la figura 11, se considera una señal en forma de diente de sierra doble.

La presencia y la polaridad de una proporción en forma de diente de sierra doble correspondiente pueden determinarse a su vez mediante una correlación. A este respecto se aprovecha el hecho de que la serie de Fourier de una señal en forma de sierra doble de este tipo tiene proporciones de coseno, que no están contenidas en una señal rectangular según la figura 9. Una señal en forma de diente de sierra doble en la forma de la figura 11 tiene los siguientes coeficientes de Fourier:

$$\begin{aligned}
 C_n &= 0 \quad \text{para } n \text{ par} \\
 C_n &= -\frac{2}{\pi n} \cdot \text{sen}(n \cdot b) + \frac{4}{\pi(\pi - 2b) \cdot n^2} \cdot \cos(n \cdot b) \quad \text{para } n \text{ impar} \\
 S_n &= 0 \quad \text{para } n \text{ par} \quad S_n = -\frac{2}{\pi n} \cdot \cos(n \cdot b) \quad \text{para } n \text{ impar}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Según la polaridad determinada del componente C1 se aumenta o se reduce la resistencia negativa y con ello se regula la compensación de resistencia.

Preferiblemente se usa durante la determinación del componente C1 la función de ventana descrita anteriormente. Debido a

$$\text{sen}(x) \cdot \cos(y) = \frac{1}{2} \cdot (\text{sen}(x+y) + \text{sen}(x-y)) \tag{9}$$

durante la multiplicación de la señal de medición con la función de ventana a partir del componente C1 se obtiene

una señal sinusoidal S2 con frecuencia de ciclo doble. Entonces se correlaciona de manera correspondiente.

Hablar de una señal en forma de diente de sierra, es decir una señal aumento lineal, es una simplificación admisible, dado que la amplitud de la señal en forma de diente de sierra doble es muy pequeña con respecto a la corriente residual. Según la ecuación (1) para  $I_s(t)$ , esto corresponde a un  $t$  muy pequeño con respecto a la constante  $T$  de tiempo, de modo que la evolución de  $I_s(0)$  a  $I_s(t)$  puede aproximarse a una recta.

Un objetivo de la compensación de resistencia es mantener la tensión  $U_i$  de inducción por encima de la inductancia  $L_s$  de bobina en la figura 1 independientemente de la corriente secundaria al valor cero. En el caso de usar amplificadores operacionales puede solaparse mediante su tensión de desplazamiento a la señal de medición una tensión continua. Basándose en la técnica de amplificador operacional se designa en este caso con tensión ( $U_o$ ) de desplazamiento la suma de todas las tensiones continuas no deseadas en el circuito de corriente secundaria. Si aparece ahora en el circuito de corriente secundaria una tensión de desplazamiento, según la ley de mallas la tensión de inducción se vuelve distinta de cero y corresponde a la tensión de desplazamiento. Esto tiene como consecuencia una variación temporal del flujo magnético y de la corriente de magnetización y conduce a errores de medición en la corriente diferencial. A este respecto, la corriente de magnetización varía linealmente con la velocidad  $dI/dt = U_i/L_s$ .

Una tensión  $U_o$  de desplazamiento suficientemente pequeña la ofrecen amplificadores seccionadores o amplificadores operacionales de precisión especialmente equilibrados. Debido a su ancho de banda reducido, los amplificadores seccionadores no pueden utilizarse en este caso. Los amplificadores operacionales de precisión aumentan los costes de la electrónica, lo cual no es el sentido del objetivo planteado.

Por tanto, según una forma de realización especial de la invención se incorpora una fuente 24 de tensión controlable adicional de compensación de desfase en el circuito de corriente secundaria. A este respecto, esta fuente 24 de tensión de desplazamiento se controla de tal manera que su tensión está opuesta a la tensión de desplazamiento y la compensa, de modo que la tensión de inducción vuelve a ser de nuevo igual a cero. Para mantener esta compensación de desfase lo más exacta posible, tienen que reconocerse y compensarse de manera continua las variaciones de la tensión de desplazamiento dependientes de la temperatura. En el caso de una compensación de desfase exacta se genera la evolución de corriente secundaria rectangular representada en la figura 9, asumiéndose para la representación a su vez la corriente inversa como cero. En el caso de una compensación errónea, a esta evolución de señal rectangular se le solapa una señal en forma de diente de sierra según la figura 12. La presencia y la polaridad de una señal en forma de diente de sierra correspondiente en la señal de medición puede determinarse mediante correlación, porque la señal en forma de diente de sierra con S2 contiene un componente armónico de la frecuencia de ciclo, que no aparece ni en la corriente alterna de magnetización rectangular ni en la señal en forma de diente de sierra doble de la compensación de resistencia. La señal en forma de diente de sierra según la figura 12 tiene los siguientes coeficientes de Fourier:

$$C_0 = \frac{1}{2} - \frac{2b}{\pi} \quad C_n = -\frac{2}{\pi n} \cdot \begin{cases} \text{sen}(n \cdot b) & \text{para } n \text{ par} \\ 0 & \text{para } n \text{ impar} \end{cases} \quad (10)$$

$$S_n = -\frac{2}{\pi n} \cdot \begin{cases} \cos(n \cdot b) - \frac{4}{\pi(\pi - 2b)n^2} & \text{para } n \text{ par} \\ 0 & \text{para } n \text{ impar} \end{cases}$$

En función de la polaridad del componente S2 determinado en la señal de medición se aumenta o se reduce la tensión de la fuente 24 de tensión controlable y con ello se regula la compensación de desfase.

Mediante la figura 13 se explica a continuación más detalladamente un ejemplo de un dispositivo según la invención y el flujo de señales. La figura 13 muestra el diagrama de bloques de un dispositivo para realizar el procedimiento. En la forma de realización mostrada en este caso, el circuito 4 de corriente secundaria presenta una conexión en serie de la bobina 3, el dipolo 5 que forma la resistencia  $R_z$  negativa de dipolo, el registro 10 de corriente para la corriente  $I_s$  secundaria, una fuente 14 de tensión controlable de la secuencia de desmagnetización y una fuente 24 de tensión controlable para la compensación de desfase.

El registro 10 de corriente y el conmutador 11 generan a partir de la corriente  $I_s$  secundaria la señal de medición. El control 15 para la secuencia de desmagnetización controla la posición del conmutador 11 de tal manera que la señal de medición durante el tiempo  $t_d$  de desmagnetización corresponde a la señal cero y durante el tiempo  $t_m$  de medición a la señal de salida del registro 10 de corriente.

El control 15 genera las secuencias de desmagnetización y controla a través de la entrada de la fuente 14 de tensión la tensión introducida en el circuito 4 de corriente secundaria.

La señal de medición del conmutador 11 se suministra a través del acumulador 12 a la formación 13 de valores eficaces. A este respecto, el acumulador 12, el correlacionador 16 de la compensación de corriente residual 41 y el

5 generador 17 rectangular de la compensación de corriente residual 41 eliminan de la señal de medición la proporción de la corriente alterna de magnetización rectangular. Para ello se suministra la señal de medición también al correlacionador 16 de la compensación de corriente residual, que a través de la amplitud de la onda S1 fundamental de la corriente alterna de magnetización rectangular determina la amplitud de la corriente alterna de magnetización rectangular. La amplitud determinada se suministra al generador 17 rectangular. Este genera una  
10 señal rectangular con frecuencia de ciclo, con sincronía de ciclo con la amplitud predeterminada por el correlacionador 16 de compensación 41 de corriente residual. La evolución de la señal en la salida del generador 17 rectangular corresponde por consiguiente a la evolución de la corriente de magnetización en la señal de medición. El acumulador 12 extrae de la señal de medición la señal de corrección generada de esta manera por el generador 17 rectangular y suministra el resultado a la formación 13 de valores eficaces.

15 El generador 9 de función de ventana, el multiplicador 8, el correlacionador 7 de señal de diente de sierra, el regulador 6 de la compensación 40 de resistencia y el dipolo 5 de la compensación 40 de resistencia sirven para la compensación de la resistencia Rcu de bobina de la bobina y para la regulación de la compensación de resistencia. Para ello se suministra a las entradas del multiplicador 8 de combinación de resistencia también la señal de medición y la señal sinusoidal con frecuencia de ciclo y con sincronía de ciclo del generador 9 de compensación de resistencia y con ello se pone la función de ventana a través de la señal de medición. El producto de las dos señales se suministra al correlacionador 7 de señal de diente de sierra. El correlacionador 7 de señal de diente de sierra determina a través de la amplitud del componente S2 armónico, que se genera en el multiplicador 8 a partir del  
20 componente C1 armónico en la señal de medición, la amplitud y polaridad de la señal en forma de diente de sierra doble en la señal de medición. El regulador 6 de compensación de resistencia controla la resistencia negativa del dipolo 5 de tal manera que la amplitud determinada por el correlacionador 7 de señal de diente de sierra se vuelve igual a cero, es decir la resistencia negativa del dipolo 5 compensa la resistencia Rcu óhmica de la bobina secundaria. El correlacionador 22, el regulador 23 y la fuente 24 de tensión controlable de la compensación 42 de desfase sirven para la compensación de la tensión de desplazamiento en el circuito 4 de corriente secundario y para la regulación de esta compensación. El correlacionador 22 determina a través de la amplitud del componente S2 armónico en la señal de medición la amplitud de la proporción en forma de diente de sierra en la señal de medición. El regulador 23 controla la fuente 24 de tensión controlable de tal manera que la amplitud se vuelve igual a cero, es decir la tensión de desplazamiento del circuito de corriente secundario se compensa por la tensión de la fuente 24  
30 de tensión controlable.

35 En la figura 14 se muestra otra forma de realización muy ventajosa de la invención. La señal obtenida con el registro 10 de corriente se suministra a través de filtros 18 de sierra y un convertidor 19 analógico-digital al ordenador 20. El ordenador 20 controla a través del convertidor 21 digital-analógico y la fuente 25 de tensión la tensión introducida en el circuito 4 de corriente secundario.

40 Durante los intervalos de medición, el ordenador 20 controla la fuente 25 de tensión de tal manera que la conexión en serie del registro 10 de corriente y la fuente 25 de tensión forma el dipolo con resistencia -Rcu óhmica negativa. El ordenador 20 genera también las secuencias de desmagnetización e introduce a través de la fuente 25 de tensión las tensiones necesarias en el circuito 4 de corriente secundario. Además determina la corriente residual y regula la compensación de resistencia y la compensación de desfase.

45 Esta forma de realización puede usarse ventajosamente para determinar los parámetros necesarios para el procedimiento del respectivo transformador de corriente usado. Se determina un valor inicial para la resistencia óhmica, al introducir a través de la fuente 25 de tensión una tensión continua en el circuito 4 de corriente secundario y medir a través del registro 10 de corriente la corriente continua que se ajusta. Las variaciones dependientes de la temperatura de la resistencia óhmica de la bobina secundaria se reconocen posteriormente, como se describe en el procedimiento, y se regula la compensación de resistencia.

50 Además se determina el flujo de saturación, al introducir el ordenador 20 a través de la fuente 25 de tensión una tensión alterna rectangular en el circuito 4 de corriente secundario. A este respecto, el ordenador 20 cambia la polaridad de tensión siempre cuando reconoce con ayuda del registro 10 de corriente el aumento repentino típico de la saturación, de la corriente secundaria. De este modo el núcleo oscila entre sus dos flujos de saturación en vaivén. A partir de la duración del periodo de la oscilación que se obtiene y de la amplitud de la tensión alterna se calcula entonces el flujo de saturación.  
55

60 En esta forma de realización resulta ventajoso además que el procesamiento de señal necesario para el procedimiento de medición según la figura 13 se implementa en su mayor parte mediante software. El esfuerzo de electrónica es reducido, lo que conduce a costes reducidos y por tanto está claramente en el sentido del objetivo planteado. La demanda de espacio reducida de la electrónica facilita la construcción de dispositivos de varios canales para realizar el procedimiento, a los que pueden conectarse directamente varios transformadores de corriente. Por consiguiente el ordenador, el abastecimiento de corriente y la electrónica de comunicación de un dispositivo de este tipo comparten varios canales. De este modo se reducen adicionalmente los costes por canal de monitorización decisivos para los constructores de instalaciones eléctricas.  
65

A continuación se explica más detalladamente haciendo referencia a la figura 15 a modo de ejemplo un posible

dispositivo para la compensación de resistencia con un dipolo activo. En la forma de realización mostrada en este caso, el circuito 4 de corriente secundaria presenta una conexión en serie de la bobina 3 secundaria, el dipolo 5 que forma la resistencia  $R_z$  negativa de dipolo con amplificadores V1 y V2. El amplificador V1 trabaja como convertidor de corriente-tensión con el factor de transmisión  $F1 = U1/I_s = R1$ . V2 está conectado como amplificador de inversión con  $F2 = U_s/U1 = -R3/R2$ . Para  $R2=R3$  se obtiene como factor de transmisión para el dipolo  $F1 \cdot F2 = -R1$ . Es decir, si una corriente  $I_s$  secundaria positiva atraviesa el circuito representado, se ajusta una caída  $U_s$  de tensión negativa  $= -R1 \cdot I_s$ . La conexión forma una resistencia óhmica negativa.

Para una compensación de resistencia exacta se ajusta la resistencia R1 al valor  $R_{cu}$ . En el caso de una corriente  $I_s$  secundaria cualquiera se obtiene entonces para la caída  $U_i$  de tensión a través de la inductancia de bobina  $-U_i = U_{cu} + U_s = 0$ . En el caso de una compensación de resistencia exacta, el circuito 4 de corriente secundaria no permite ninguna tensión  $U_i$  de inducción, es decir ninguna variación de flujo magnético temporal en el núcleo. La tensión de inducción más pequeña conduciría en la resistencia óhmica total del circuito de corriente secundaria, que es igual a cero, inmediatamente a una alta corriente secundaria, que contrarresta la variación de flujo magnético.

En todavía otra forma de realización se usan además tiempos de correlación largos, de modo que en general solo tiene lugar una reacción lenta a los resultados de correlación. Preferiblemente, mediante la correlación a través de muchos ciclos de medición y mediante una frecuencia de ciclo reducida 0,3 Hz se consigue un ancho de banda pequeño de la medición de amplitud. El intervalo de frecuencia, en el que una proporción de frecuencia de la corriente diferencial puede conducir a errores de medición, se vuelve estrecho. También está previsto que se evalúan variaciones repentinas en el resultado de correlación como perturbación, tras lo cual se desechan los resultados de correlación y dado el caso se cambia la frecuencia de ciclo y con ello el intervalo de frecuencia sensible.

De este modo se consigue ventajosamente que el procedimiento de medición pueda alterarse menos mediante proporciones de frecuencia desfavorables en la corriente diferencial. Esto es importante en particular en la determinación de la corriente residual y en la regulación de la compensación de resistencia y en la regulación de la compensación de desfase, donde se miden las amplitudes de determinadas proporciones de frecuencia con sincronía de ciclo en la señal de medición mediante correlación ( $S1$ ,  $C1$ ,  $S2$ ). A este respecto, si la propia corriente diferencial contiene estas frecuencias, pueden aparecer en principio errores de medición.

Por ello, según la invención se aprovecha el hecho de que las variaciones de la corriente residual y de la resistencia óhmica de la bobina secundaria que se generan por variaciones de temperatura son también operaciones lentas. Por tanto, variaciones rápidas de los resultados de correlación apuntan a una proporción de frecuencia perturbadora en la corriente diferencial.

Por tanto, también es una ventaja que en los conductores comprendidos por el núcleo no se induzca ninguna tensión de perturbación. El multivibrador descrito en el estado de la técnica aplica a la bobina secundaria una tensión alterna de flancos muy inclinados rectangular. Aunque la frecuencia de multivibrador se encuentra habitualmente por debajo de 1 kHz, los componentes armónicos llegan hasta más de 150 kHz y son por consiguientes relevantes para la evaluación de la compatibilidad electromagnética del dispositivo.

**Símbolos de fórmulas**

- A      señal de corte
- B      densidad de flujo magnético
- Bs     densidad de flujo de saturación
- Cn     coeficiente de coseno de Fourier
- F      función de ventana
- F1     factor de transmisión
- F2     factor de transmisión
- $\Phi$     flujo magnético concatenado
- $\Phi_s$    flujo de saturación
- H      intensidad de campo magnético
- Ib     valor máximo de la corriente secundaria
- Ic     corriente coercitiva
- Id     señal en forma de diente de sierra doble
- Ir     corriente residual
- I<sub>s</sub>    corriente secundaria
- I<sub>s0</sub>   valor inicial de la corriente continua secundaria
- Iz     señal en forma de diente de sierra
- Ls     inductancia de bobina
- R1     resistencia
- R2     resistencia
- R3     resistencia
- R<sub>cu</sub>   resistencia óhmica

	Rg	resistencia óhmica total del circuito de corriente secundario
	Rz	resistencia del dipolo
	Sn	coeficiente de seno de Fourier
	T	constante de tiempo
5	U1	tensión de salida de amplificador
	Ucu	tensión por encima de la resistencia óhmica
	Ue	tensión de desmagnetización
	Ui	tensión de inducción
	Us	tensión de bobina
10	b	media anchura del hueco en la medida de arco
	fz	frecuencia de ciclo
	n	múltiplo de la frecuencia de ciclo
	t	tiempo
	t1	duración del primer impulso de tensión
15	t2	duración del segundo impulso de tensión
	te	tiempo de desmagnetización
	tm	tiempo de medición
	tz	tiempo de ciclo
	Uo	tensión de desplazamiento
20	A	señal de corte rectangular
	Wie	corriente alterna de magnetización rectangular

#### Signos de referencia

25	1	área de tensión-tiempo
	2	conductor primario
	3	bobina secundaria
	4	circuito de corriente secundario
	5	dipolo
30	6	regulador de compensación de resistencia
	7	correlacionador de la señal de diente de sierra
	8	multiplicador de la compensación de resistencia
	9	generador de la función de ventana
	10	registro de corriente
35	11	conmutador
	12	acumulador de la compensación de corriente residual
	13	formación de valores eficaces
	14	fuelle de tensión secuencia de desmagnetización
	15	control de la secuencia de desmagnetización
40	16	correlacionador de la compensación de corriente residual
	17	generador rectangular
	18	filtros de sierra
	19	convertidor analógico-digital
	20	ordenador
45	21	convertidor digital-analógico
	22	correlacionador de la compensación de desfase
	23	regulador de la compensación de desfase
	24	fuelle de tensión de la compensación de desfase
	25	fuelle de tensión
50	V1	amplificador operacional
	V2	amplificador operacional
	R1	resistencia
	R2	resistencia
	R3	resistencia
55	40	compensación de resistencia
	41	compensación de corriente residual
	42	compensación de desfase
	43	núcleo de transformador
	44	impulso de tensión
60		

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para medir corrientes eléctricas con ayuda de un transformador de corriente, caracterizado porque
  - en el circuito (4) de corriente secundario del transformador de corriente la resistencia ( $R_{cu}$ ) óhmica de la bobina (3) secundaria se compensa con ayuda de un dipolo (5) activo que forma una resistencia ( $R_z$ ) óhmica negativa, para mantener la proporción de corriente continua de una corriente secundaria inducida por una corriente ( $I_s$ ) primaria en la bobina secundaria, correspondiendo la magnitud de la resistencia negativa del dipolo (5) a la resistencia ( $R_{cu}$ ) óhmica de la bobina (3) secundaria y midiéndose la corriente ( $I_s$ ) secundaria del transformador de corriente, para determinar la corriente continua secundaria y/o corriente inversa correspondiente a la corriente mixta de los conductores primarios,
  - para la producción de un flujo magnético definido en el núcleo de transformador se emite una secuencia de impulsos predeterminada a través de una bobina magnética al núcleo de transformador, magnetizándose el núcleo de transformador mediante la aplicación de un primer impulso de tensión o de una corriente en una bobina del transformador hasta el flujo ( $\Phi_s$ ) de saturación, y a continuación mediante la aplicación de un segundo impulso de tensión de polaridad inversa y de área de tensión-tiempo definida (1) se reduce de nuevo el flujo magnético.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el área (1) de tensión-tiempo del segundo impulso de tensión se selecciona y siguiendo al segundo impulso de tensión se aplica un tercer impulso de tensión definido con una polaridad inversa al segundo impulso de tensión, de tal manera que en el transformador se alcanza un punto de trabajo, en el que con una corriente de magnetización pequeña en comparación con la corriente de saturación la inductancia diferencial del transformador es lo más grande posible.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el que la corriente de magnetización correspondiente al flujo magnético definido producido se determina en la bobina (3) secundaria, al generar una corriente alterna de magnetización, al aplicar la secuencia de impulsos con una frecuencia predeterminada de manera alternante, con en cada caso signo inverso, para ambas polaridades de saturación.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en el que se forman ciclos de medición con un tiempo ( $t_z$ ) de ciclo, que presenta en cada período un intervalo de tiempo con tiempo ( $t_e$ ) de desmagnetización y un intervalo de tiempo con tiempo ( $t_m$ ) de medición.
5. Procedimiento según la reivindicación 3 o 4, en el que se determina la amplitud de la corriente alterna de magnetización que se genera y se genera una señal de corrección, que corresponde en la evolución y la amplitud a una corriente alterna de magnetización rectangular, y la señal de medición se corrige correspondientemente con la señal de corrección determinada.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, afinándose la señal de medición para un procesamiento adicional de tal manera que todos los intervalos ( $t_e$ ) de tiempo en la señal de medición, que corresponden a un intervalo de tiempo de un impulso de tensión de la secuencia de impulsos predeterminada de una polaridad, se dotan de un valor constante predeterminado, en particular del valor cero.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, multiplicándose la señal de medición afinada además con una función de ventana, en particular una señal sinusoidal con frecuencia de ciclo y con sincronía de ciclo.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la magnitud de la resistencia ( $R_z$ ) óhmica negativa generada se regula mediante una compensación incompleta o compensación en exceso determinada de la resistencia ( $R_{cu}$ ) óhmica de la bobina (3) secundaria.
9. Procedimiento según la reivindicación 8, en el que la se determina compensación incompleta o compensación en exceso de la resistencia ( $R_{cu}$ ) óhmica de la bobina (3) secundaria, al determinar a partir de la señal de medición la amplitud de un componente armónico, que aparece en el caso de una desviación de una corriente alterna de magnetización con respecto a una forma de señal rectangular.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se determina una tensión de desplazamiento que aparece en el circuito secundario, provocada en particular por los componentes electrónicos usados, y a continuación se compensa.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que el valor de la tensión de desplazamiento se determina por medio de correlación, al determinarse a partir de la señal de medición la amplitud de un componente armónico, con la que se diferencia una señal ( $I_z$ ) en forma de diente de sierra sencilla con respecto a una señal  $I_d$  en forma de diente de sierra doble o señal rectangular.

- 5
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, aplicado para medir corrientes diferenciales o corrientes de defecto en un dispositivo eléctrico, que además de una proporción de corriente alterna también contienen una proporción de corriente continua.
- 10
13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, siendo la bobina magnética para emitir la secuencia de impulsos predeterminada al núcleo de transformador la bobina (3) secundaria del transformador.
- 15
14. Dispositivo para medir corrientes eléctricas, que presenta al menos un transformador de corriente, para su acoplamiento con los terminales secundarios del transformador de corriente y configurado, en relación con el transformador de corriente, para realizar el procedimiento de medición según una de las reivindicaciones 1 a 13.
- 20
15. Dispositivo según la reivindicación 14, presentando el dispositivo al menos una fuente (25) de tensión controlable y al menos un registro (10) de corriente, que están conectados con un control.
- 25
16. Dispositivo según la reivindicación 15, que presenta un dipolo (5) activo, que está conectado a través de un primer regulador con el registro (10) de corriente, de modo que se forma un circuito regulador para proporciones de frecuencia definidas de una señal de medición generada a través del registro (10) de corriente.
- 30
17. Dispositivo según la reivindicación 15 o 16, que presenta además un segundo regulador (6) para adaptar la resistencia ( $R_z$ ) de dipolo negativa a la resistencia de bobina óhmica dependiente de la temperatura.
- 35
18. Dispositivo según la reivindicación 17, en el que el segundo regulador está configurado para realizar la adaptación de la resistencia ( $R_z$ ) de dipolo negativa a través de coeficientes de Fourier y por medio de la compensación de proporciones de frecuencia no deseadas de la señal de medición.
- 40
19. Dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 18, estando implementado el control con un microcontrolador.
- 45
20. Sistema para medir corrientes eléctricas, que presenta un transformador de corriente inductivo y el dispositivo según una de las reivindicaciones 15 a 19.
- 50
21. Procedimiento para medir corrientes eléctricas con ayuda de un transformador de corriente, que presenta las etapas de:
- ampliar el circuito del circuito (4) secundario del transformador de corriente con un dispositivo eléctrico, de modo que un dipolo (5) activo que forma una resistencia ( $R_z$ ) óhmica negativa y un registro (10) de corriente en el circuito (4) secundario del transformador están conectados en serie, y una fuente (25) de tensión en el circuito de corriente está conectada a una bobina (3) secundaria del transformador, y una unidad de control está conectada con el registro (10) de corriente y con la fuente (25) de tensión;
  - leer el registro (10) de corriente así como activar la fuente (25) de tensión por medio de la unidad de control, para ejecutar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 13; y
  - emitir una señal de salida desde la unidad de control, que contiene la proporción de corriente continua así como la proporción de corriente alterna de una corriente primaria eléctrica del transformador.

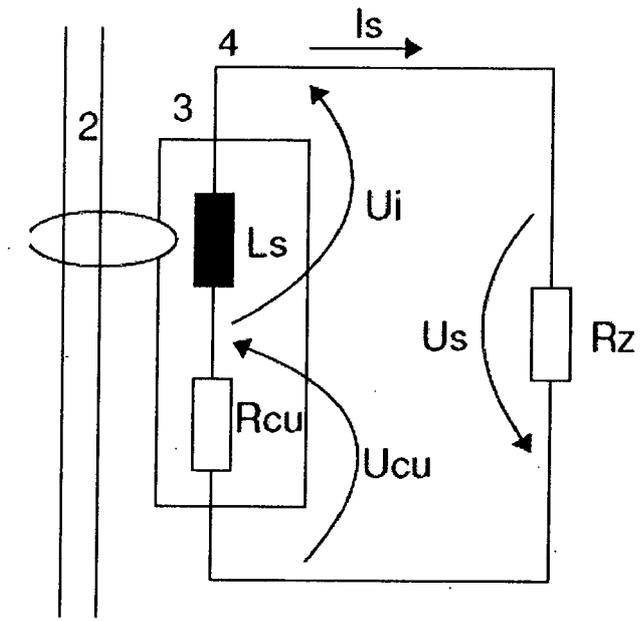


Fig. 1

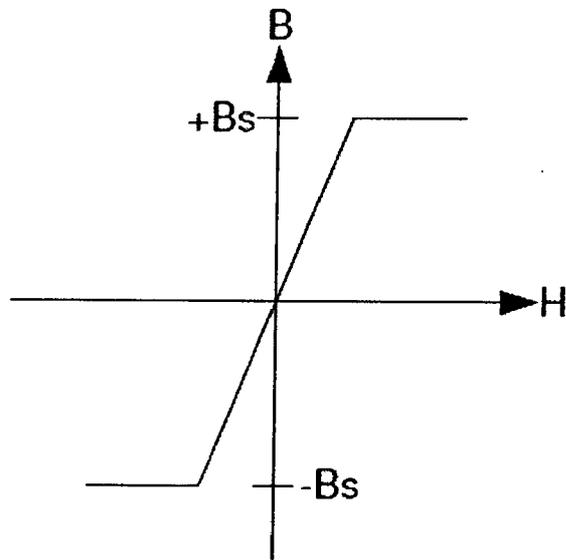


Fig. 2

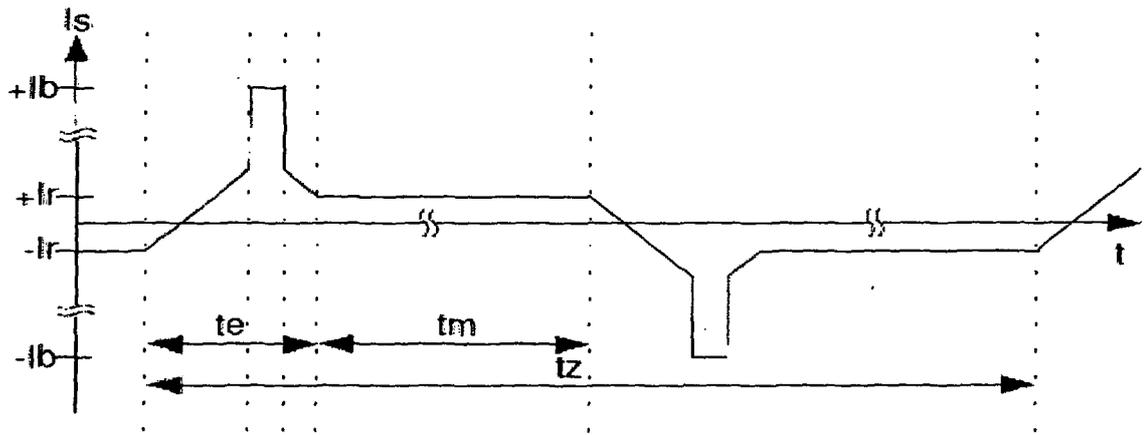


Fig. 3

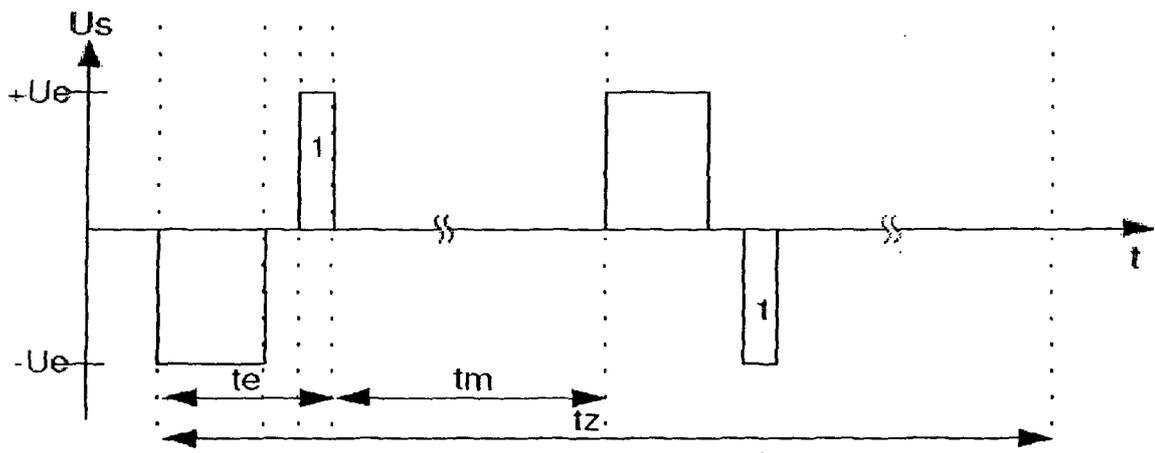


Fig. 4

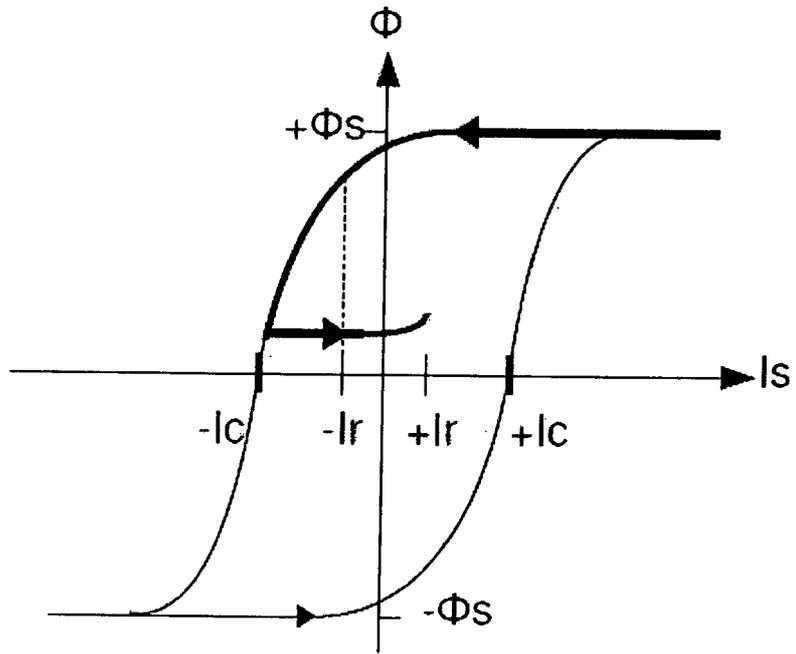


Fig. 5

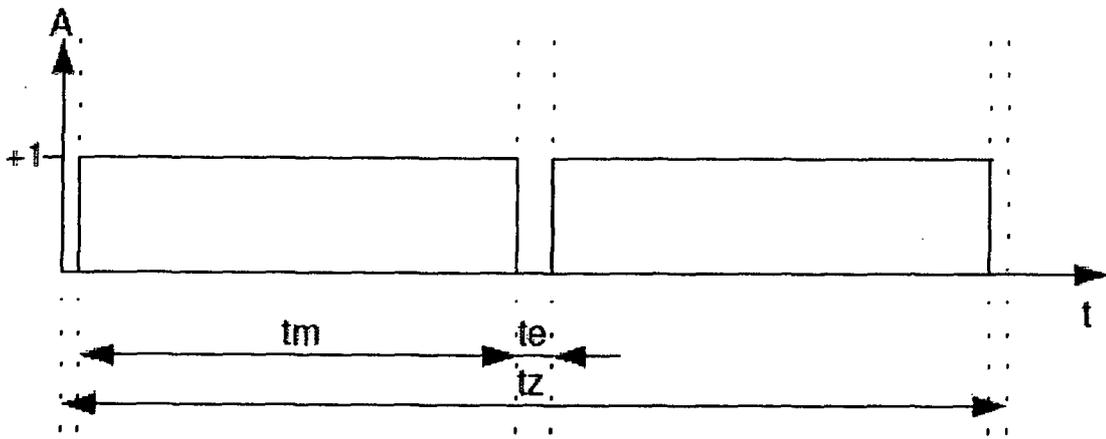


Fig. 6

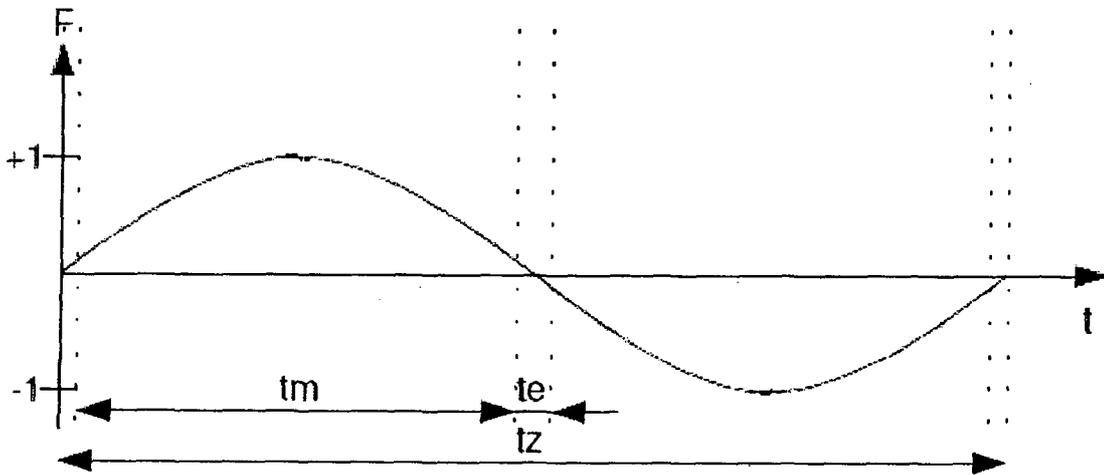


Fig. 7

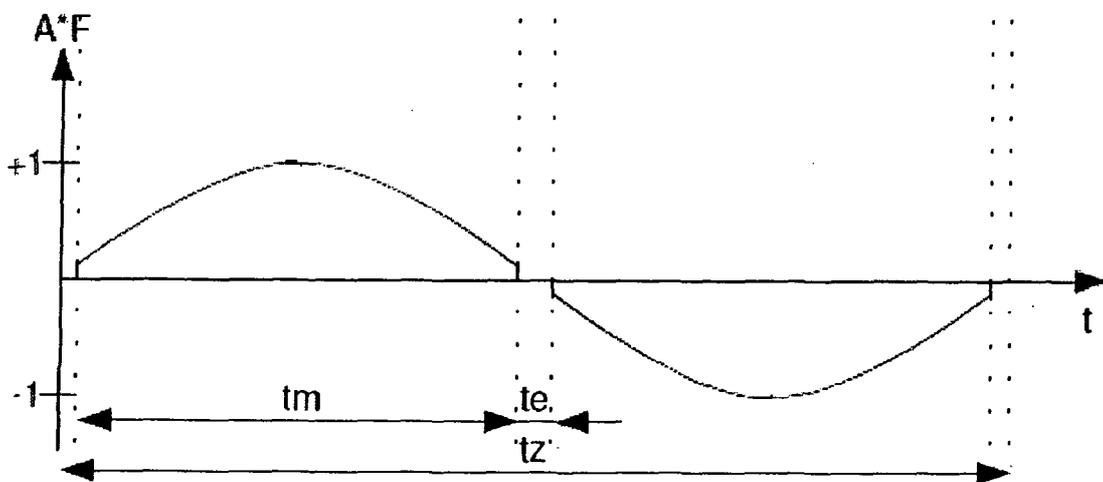


Fig. 8

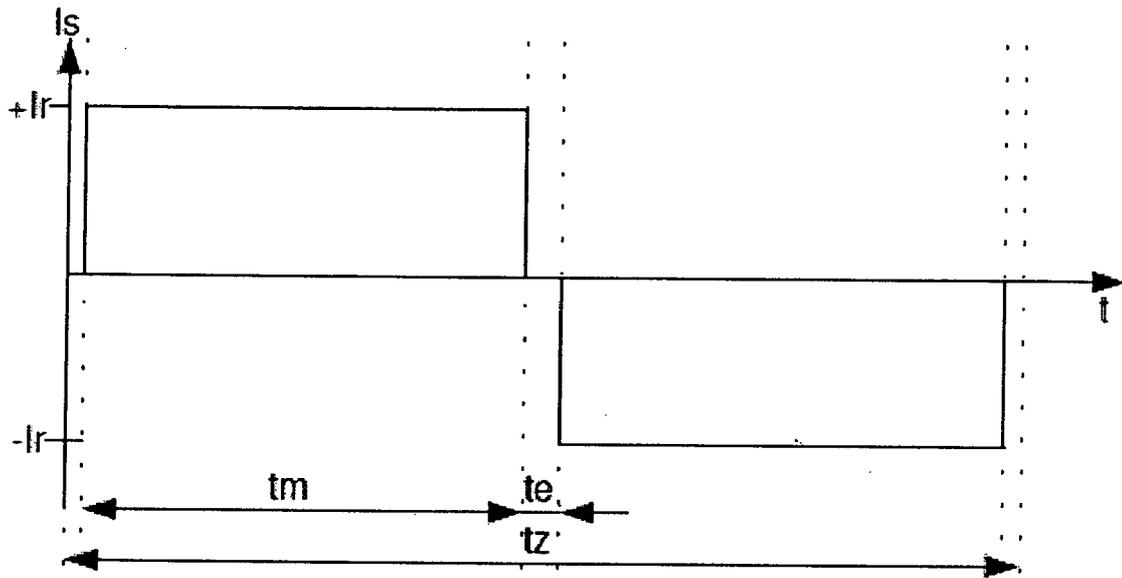


Fig. 9

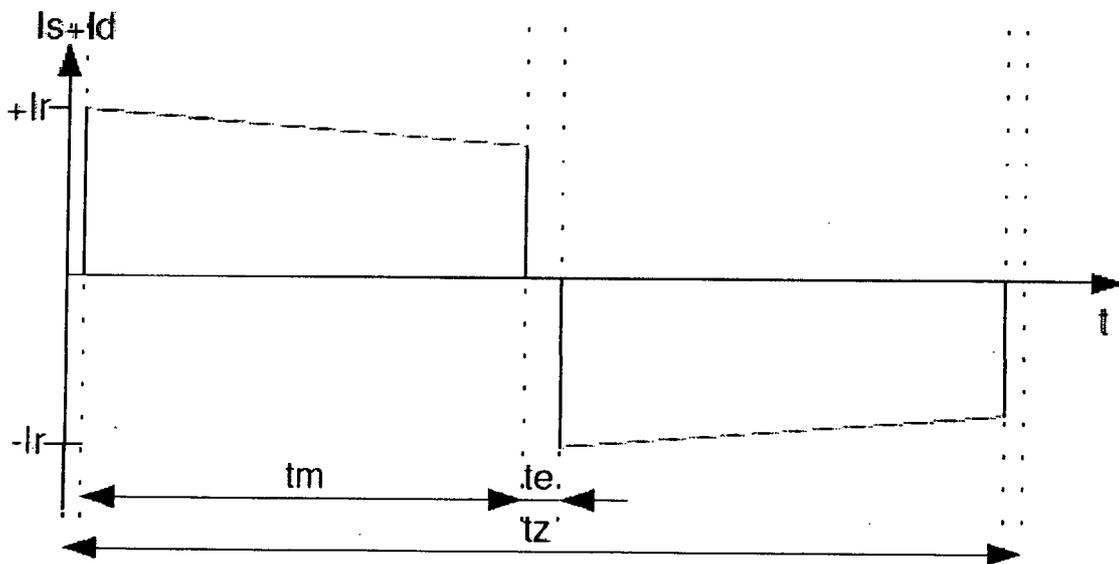


Fig. 10

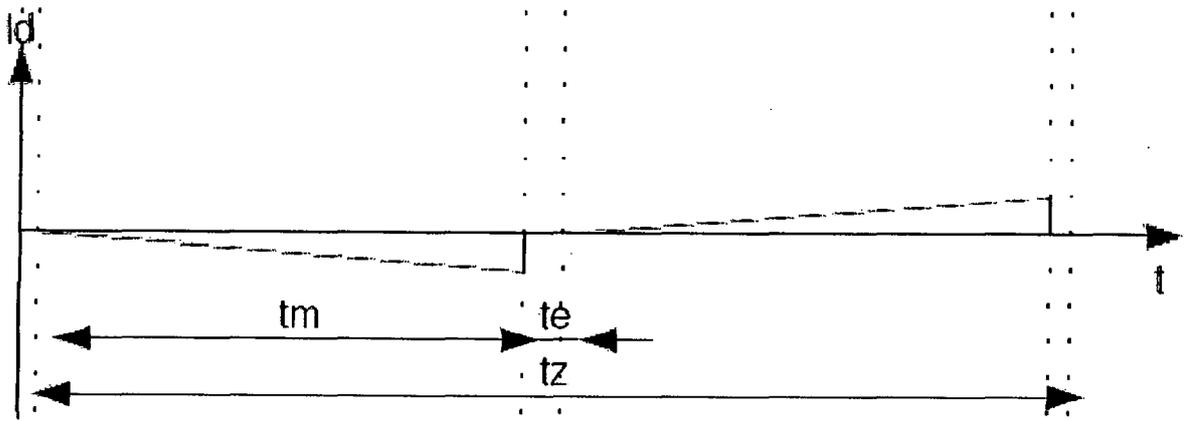


Fig. 11

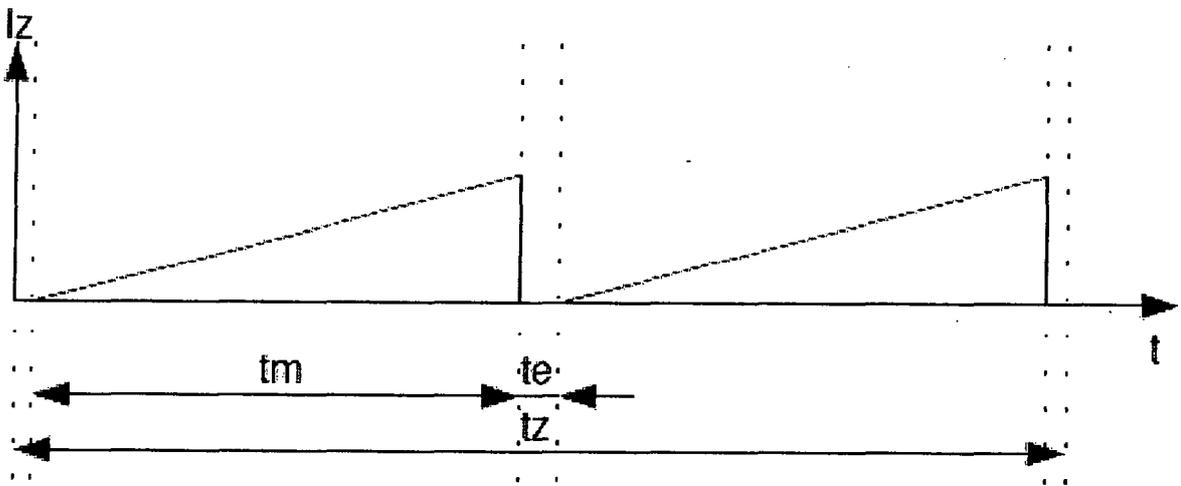


Fig. 12

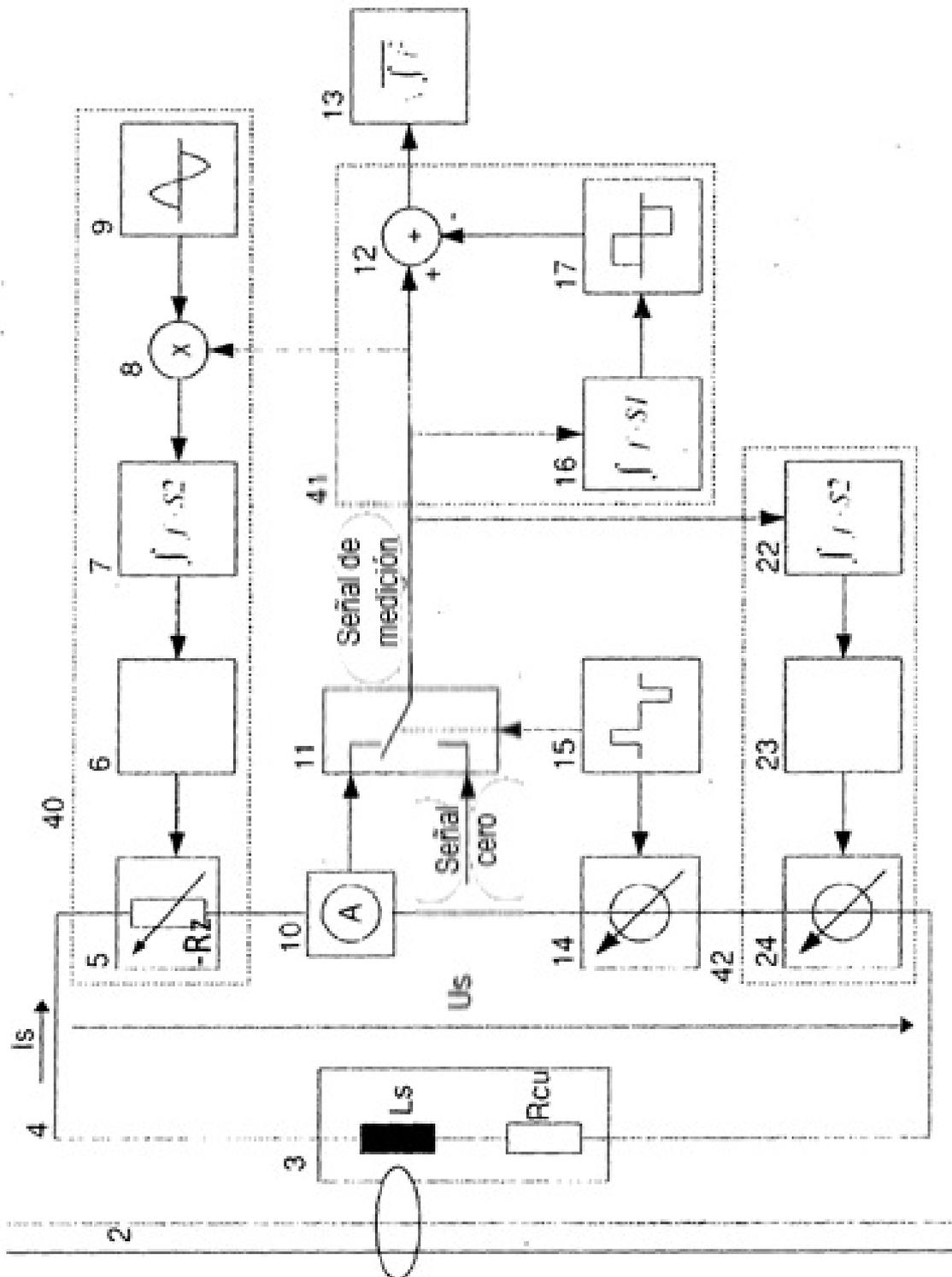


Fig. 13

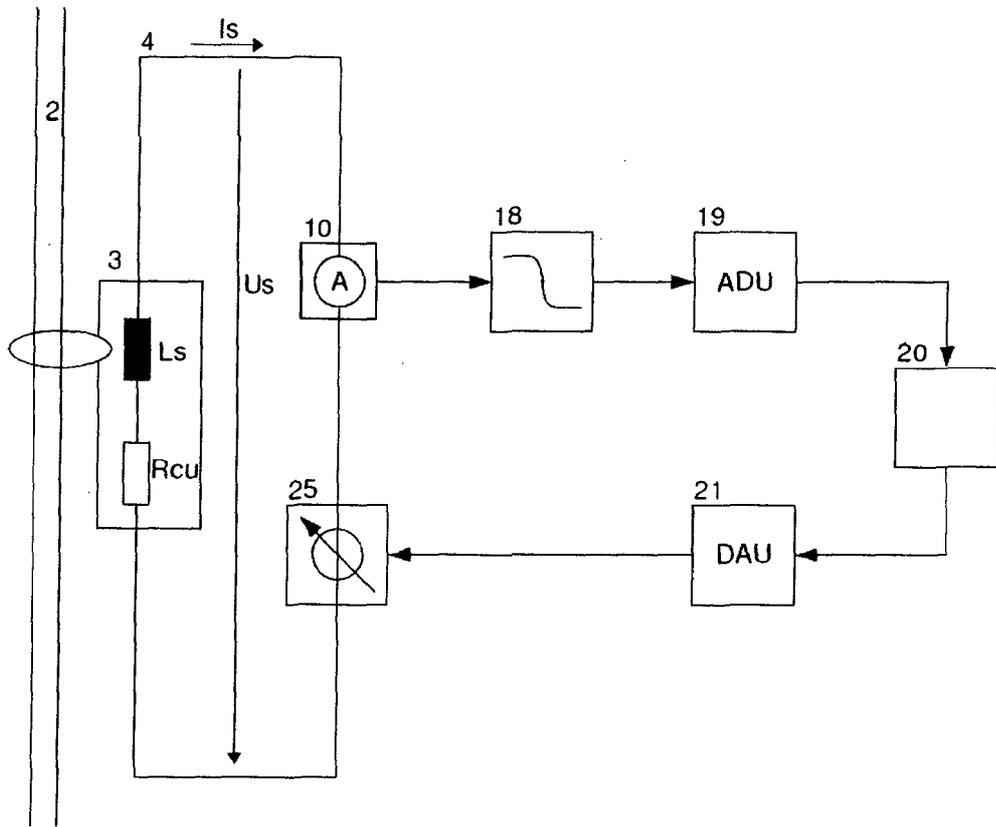


Fig. 14

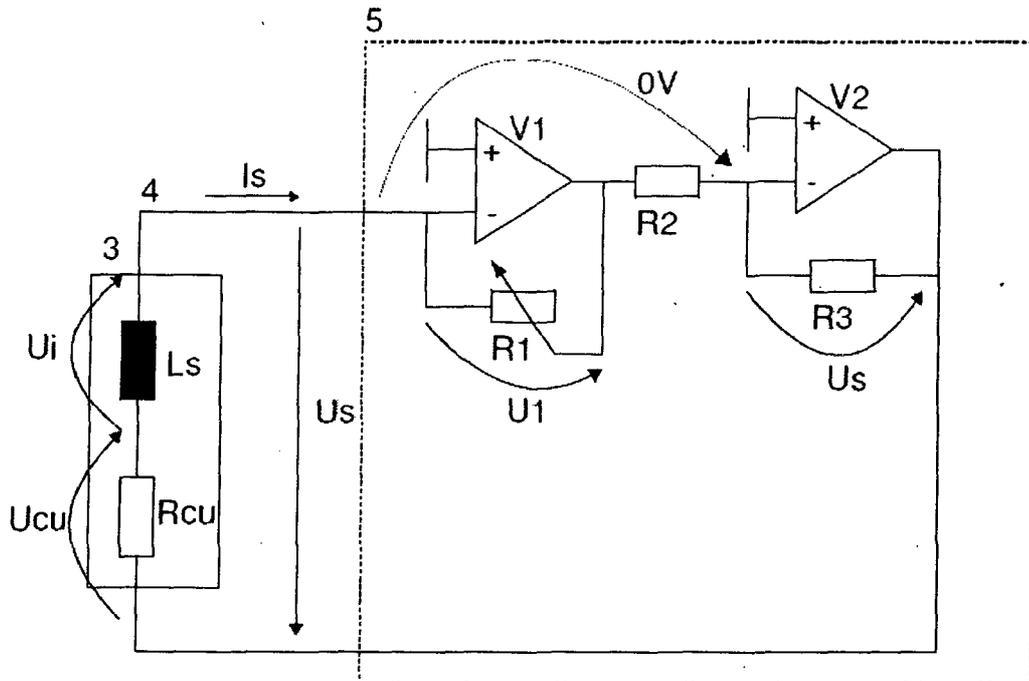


Fig. 15