



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 297 407**

(51) Int. Cl.:
H01F 1/153 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **04725032 .9**

(86) Fecha de presentación : **01.04.2004**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1609159**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **28.12.2005**

(54) Título: **Núcleo magnético, procedimiento para la producción de uno de dichos núcleos magnéticos, aplicaciones de uno de dichos núcleos magnéticos, en particular en los casos de transformadores de corriente y de bobinas de reactancia compensadas en corriente, así como aleaciones y bandas para la producción de uno de dichos núcleos magnéticos.**

(30) Prioridad: **02.04.2003 DE 103 15 061**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.05.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.05.2008

(73) Titular/es: **Vacuumschmelze GmbH & Co. KG.**
Gruner Weg 37
63450 Hanau, DE

(72) Inventor/es: **Herzer, Giselher y**
Otte, Detlef

(74) Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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

Núcleo magnético, procedimiento para la producción de uno de dichos núcleos magnéticos, aplicaciones de uno de dichos núcleos magnéticos, en particular en los casos de transformadores de corriente y de bobinas de reactancia compensadas en corriente, así como aleaciones y bandas para la producción de uno de dichos núcleos magnéticos.

El invento se refiere a un núcleo magnético con una alta capacidad de modulación para componentes de corriente alterna y de corriente continua, a un procedimiento para la producción de uno de dichos núcleos magnéticos y a aplicaciones de uno de dichos núcleos magnéticos, en particular en los casos de transformadores de corriente y de bobinas de reactancia compensadas en corriente, así como a aleaciones y a bandas para la producción de uno de dichos núcleos magnéticos.

En los casos de numerosas aplicaciones de núcleos magnéticos se solicita una alta capacidad de modulación para componentes de corriente alterna y de corriente continua, siendo necesaria una capacidad de modulación específica según sea el caso de aplicación respectivamente para corriente continua y para corriente alterna. Las aplicaciones de núcleos magnéticos con una alta capacidad de modulación para componentes de corriente continua y de corriente alterna, se presentan por ejemplo en los casos de transformadores de corriente y de bobinas de reactancia compensadas en corriente.

Bobinas de reactancia supresoras de interferencias, compensadas en corriente, se describen por ejemplo en los documentos de solicitudes de patentes alemanas DE-A 35.26.047 y DE 195.48.530 A1. Ellas disponen, para la aplicación a una sola fase, de dos arrollamientos, y en el caso de la aplicación a múltiples fases, de tres o más arrollamientos. Los arrollamientos de las bobinas de reactancia supresoras de interferencias están conectados de tal manera que los flujos magnéticos, que se inducen a causa de la corriente de servicio, se suprimen recíprocamente, mientras que las corrientes perturbadoras, que fluyen con la misma fase a través de ambos arrollamientos, tienen como consecuencia una magnetización del núcleo magnético blando. De esta manera, la bobina de reactancia supresora de interferencias, compensada en corriente, que ha resultado de este modo, actúa como una resistencia inductiva muy pequeña en lo que se refiere a las corrientes de servicio, mientras que las corrientes perturbadoras, que salen por ejemplo de aparatos conectados y que se cierran a través de una conexión a tierra, se encuentran con una inductividad muy alta.

El núcleo de las conocidas bobinas de reactancia supresoras de interferencias, compensadas en corriente, es producido por ejemplo a partir de aleaciones amorfas o nanocristalinas, preferiblemente a partir de un material en forma de banda. La inductividad de las bobinas de reactancia depende en tal caso, aparte de del número de arrollamientos y de la sección transversal del núcleo, en lo esencial de la permeabilidad relativa del material magnético blando del núcleo magnético.

Los transformadores de corriente con los núcleos magnéticos mencionados al comienzo, se pueden utilizar a su vez por ejemplo en el caso de contadores de energía eléctrica, tal como está descrito por ejemplo en el documento de solicitud de patente internacional WO 00/30131. Los contadores de energía eléctrica se emplean por ejemplo para la determinación del consumo de energía eléctrica de aparatos e instalaciones eléctricos/as en la industria y en el sector doméstico. El principio más antiguo, habitual en tal caso, es el del contador de Ferrari. El contador de Ferrari se basa en el recuento de la energía eléctrica por medio de la rotación de un disco unido con un dispositivo contador mecánico, que es propulsado por los campos, proporcionales a la corriente eléctrica o respectivamente a la tensión eléctrica, de correspondientes bobinas de campo. Para la ampliación de las posibilidades funcionales de los contadores de energía eléctrica, tal como p.ej. para un funcionamiento con tarifas múltiples o para una lectura a distancia, se emplean contadores electrónicos de energía eléctrica, en los cuales la determinación de la corriente eléctrica y de la tensión eléctrica se efectúa a través de convertidores de corriente y de tensión. Las señales de salida de estos convertidores son digitalizadas, multiplicadas, integradas y almacenadas; el resultado es una magnitud eléctrica, que está a disposición, entre otras cosas, para una lectura a distancia.

Una de las formas de realización técnicas posibles de uno de tales convertidores de corriente es el transformador de corriente que trabaja de acuerdo con el principio de inducción. La Figura 1 muestra un diagrama de conexiones de reemplazo (equivalente) de uno de tales transformadores de corriente y los intervalos de los datos técnicos, como pueden aparecer éstos en diferentes aplicaciones. Se muestra aquí un transformador de corriente 1. En un núcleo magnético 4, que está constituido a base de un material magnético blando, se encuentra el arrollamiento primario 2, que conduce la corriente I_{prim} que se ha de medir, y un arrollamiento secundario 3, que conduce la corriente secundaria I_{sec} . Esta corriente I_{sec} se ajusta automáticamente, de tal manera que los arrollamientos amperimétricos primario y secundario son en el caso ideal de igual magnitud y están dirigidos en sentidos opuestos. La evolución de los campos magnéticos en uno de tales transformadores de corriente se representa en la Figura 2, no tomándose en consideración las pérdidas en el núcleo magnético a causa de su valor, que por lo general es pequeño. La corriente en el arrollamiento secundario 3 se ajusta entonces de acuerdo con la ley de inducción, de tal manera que ella intenta impedir la causa de su formación, a saber la modificación en el curso del tiempo del flujo magnético en el núcleo magnético 4.

En el transformador de corriente ideal, por lo tanto, la corriente secundaria, es igual al valor negativo de la corriente primaria multiplicada por la relación de los números de arrollamientos, lo cual se representa por la ecuación (1)

ES 2 297 407 T3

$$I_{\text{sec}}^{\text{ideal}} = -I_{\text{prim}} * (N_{\text{prim}}/N_{\text{sec}}) \quad (1)$$

Este caso ideal, a causa de las pérdidas en la resistencia de carga 5, en la resistencia de cobre 6 del arrollamiento secundario y en el núcleo magnético 4, jamás se alcanza.

En un transformador real de corriente, por lo tanto, la corriente secundaria tiene frente a la idealización anterior un error de amplitud y un error de fase, lo cual se describe mediante la ecuación (2)

$$\text{Error de amplitud : } F(I) = \frac{I_{\text{sec}}^{\text{real}} - I_{\text{sec}}^{\text{ideal}}}{I_{\text{sec}}^{\text{ideal}}}; \quad \text{Error de fase : } \varphi(I) = \phi(I_{\text{sec}}^{\text{real}}) - \phi(-I_{\text{prim}}) \quad (2)$$

Las señales de salida de unos de tales transformadores de corriente son digitalizadas y elaboradas ulteriormente en la parte electrónica del contador de energía eléctrica.

Los contadores electrónicos de energía eléctrica, empleados para el recuento de energía eléctrica en aplicaciones industriales trabajan, a causa de las corrientes con frecuencia muy altas ($>> 100 \text{ A}$), de manera indirecta, es decir que delante de las entradas de corriente están conectados unos especiales transformadores de corriente primaria, de manera tal que se deben medir en el contador propiamente dicho unas corrientes alternas simétricas con respecto a cero, puramente bipolares (típicamente de $1 \dots 6 \text{ A}_{\text{eff}}$). Para esto sirven unos transformadores de corriente, que están constituidos con unos núcleos magnéticos a base de materiales muy permeables, por ejemplo aleaciones de níquel y de hierro, que contienen aproximadamente 80% en peso de níquel y que se conocen bajo el nombre de "Permalloy". Éstos, para conseguir unos pequeños errores de medición, tienen fundamentalmente un error de fase ϕ muy bajo, para lo cual, además de esto, ellos están provistos de muchísimos (típicamente más de 1.000) arrollamientos secundarios.

Para el empleo en contadores domésticos, que se pueden emplear también en instalaciones industriales pequeñas, éstos no son apropiados, puesto que en el caso de una conexión directa usual en este caso, sin transformadores de corriente primaria, conectados de antemano, las intensidades de corriente pueden ser por regla general de 100 y más A, y de esta manera saturarían a los transformadores de corriente arriba descritos. Además, estas corrientes no pueden contener unas porciones de corriente continua simétricas con respecto a cero, que se producen mediante los circuitos de semiconductores empleados en los modernos aparatos eléctricos (por ejemplo circuitos de rectificadores y de recorte de fases) y los transformadores de corriente con núcleos magnéticos altamente permeables se saturan magnéticamente y por consiguiente falsean el recuento de energía eléctrica.

Las normas internacionales, decisivas para esto, de la serie IEC 62053, preestablecen que un contador electrónico de energía eléctrica para el mantenimiento de las clases de precisión 1 o respectivamente 2% para un valor efectivo medible como máximo I_{max} , indicado, de una corriente sinusoidal simétrica bipolar con respecto a cero debe poder medir una amplitud máxima de una corriente sinusoidal unipolar rectificadora en una semionda, con un error adicional máximo de 3 o respectivamente de 6%, cuyo valor numérico es igual al del valor efectivo máximo. Junto a estas normas, existen limitaciones nacionales y regionales, que permiten un comportamiento definido con suficiente precisión de la determinación de energía eléctrica, también con un bajo valor límite de la amplitud de la corriente unipolar.

Para la representación de tales corrientes se conocen unos convertidores de corriente, que trabajan sobre la base de circuitos magnéticos abiertos o respectivamente cortados con entrehierros incorporados mecánicamente, y por consiguiente de baja permeabilidad. Un ejemplo de uno de tales convertidores de corriente es un transformador de corriente, en el que como núcleo magnético se emplea un núcleo de ferrita con envoltura (cortado) provisto de un entrehierro. Éste dispone de una satisfactoria linealidad en función de la corriente primaria, pero, a causa de la inducción de saturación, relativamente baja, de las ferritas, es necesario un núcleo magnético de volumen comparativamente grande, con el fin de conseguir en el caso del transformador de corriente una alta corriente primaria medible como máximo, con una alta linealidad a lo largo de todo el intervalo de corrientes. Estos transformadores de corriente tienen además asimismo una alta sensibilidad frente a campos ajenos externos, por lo que también allí se deben adoptar medidas de protección, que presentan un intenso consumo de material y de montaje y por lo tanto son poco favorables en cuanto a los costos. Además, en el caso de las ferritas, por regla general los valores magnéticos son grandemente dependientes de la temperatura.

Además, se conocen unos convertidores de corriente que trabajan sobre la base de bobinas de núcleo de aire, exentas de hierro. Este principio es conocido como el denominado principio de Rogowski. En este caso desaparece la influencia de las propiedades de un material magnético blando sobre la precisión de medición. A causa de la construcción abierta magnéticamente de tales convertidores de corriente, éstos deben ser provistos de unos blindajes especialmente costosos contra campos externos, lo cual asimismo presenta grandes costos a causa del consumo de material y de montaje.

Una posibilidad técnicamente muy valiosa para la realización es la utilización de transformadores de corriente con unos núcleos magnéticos de permeabilidad relativamente baja ($\mu = 1.400 \dots 3.000$) a base de materiales magnéticos blandos amorfos, solidificados con rapidez. La muy buena constancia de esta permeabilidad en el caso de modificaciones de la capacidad de modulación, garantiza una linealidad muy alta del error de fase a lo largo de todo el intervalo de corrientes, que se han de transferir. Mediante el bajo valor de la permeabilidad se impide una saturación con unas

porciones de corriente continua situadas dentro de límites calculables; por el contrario, ella conduce a la aparición de un error de fase comparativamente alto entre la corriente primaria y la corriente secundaria, que se debe de compensar mediante un correspondiente circuito electrónico o un programa lógico (software). En las formas de realización conocidas hasta ahora de contadores electrónicos de energía eléctrica, está presente un intervalo de compensación típicamente de 0,5...5°, exigiendo la compensación de los valores más altos de este intervalo, sin embargo, un gasto creciente en lo que se refiere a los circuitos y acumuladores de semiconductores que elaboran las señales, lo cual aumenta los costos de los aparatos. Un problema grave desde el punto de vista de los fabricantes que compiten en el mercado para contadores de energía eléctrica, lo constituyen los costos para los materiales magnéticos que se han de utilizar, puesto que las aleaciones hasta ahora utilizadas contienen en torno a 80% en átomos de Co, lo cual conduce a un precio comparativamente alto de los materiales.

Es misión del invento mejorar un núcleo magnético, que tenga una alta capacidad de modulación para componentes de corriente alterna y de corriente continua, en sus propiedades referidas a una aplicación. Es además misión del invento estructurar el núcleo magnético, en lo que se refiere a sus propiedades, de tal manera que él sea apropiado para diferentes casos de aplicaciones, así como indicar aplicaciones para uno de tales núcleos magnéticos. Además, es misión del presente invento poner a disposición un núcleo magnético especialmente barato. Es finalmente todavía misión del invento indicar un procedimiento de producción para tales núcleos magnéticos.

El problema planteado por esta misión se resuelve mediante un núcleo magnético con las características de la reivindicación principal 1. El problema planteado por esta misión se resuelve además mediante un transformador de corriente de acuerdo con la reivindicación 20, que tiene uno de tales núcleos magnéticos, y mediante una bobina de reactancia de acuerdo con la reivindicación 23, que tiene uno de tales núcleos magnéticos. Finalmente la misión se resuelve además mediante un procedimiento de producción de acuerdo con la reivindicación 16. Formas de realización y perfeccionamientos de la idea del invento son objeto de reivindicaciones subordinadas.

En comparación con el estado de la técnica, por ejemplo un transformador de corriente con un núcleo magnético conforme al invento, está mejorado manifiestamente en sus propiedades (por ejemplo, la deriva por temperatura, el error de fase, la corriente primaria máxima, la corriente primaria unipolar máxima, así como los costos) en comparación con los conocidos transformadores de corriente (por ejemplo con núcleos de ferrita). El núcleo magnético puede ser estructurado en este caso también sin entrehierro y cerrado. Junto con una alta capacidad de modulación para componentes de corriente alterna y de corriente continua, él tiene una alta linealidad de la reproducción de corriente, apropiada sobresalientemente en particular para aplicaciones en contadores de corriente eléctrica a lo largo de un amplio intervalo de corrientes y una alta inmunidad frente a campos magnéticos ajenos externos, sin medidas de blindaje adicionales. Por consiguiente, se ha mostrado que los núcleos magnéticos conformes al invento son apropiados en medida especial para transformadores de corriente y para bobinas de reactancia compensadas en corriente. Ellos, sin embargo, se pueden emplear ventajosamente también en los casos de cualesquiera otras aplicaciones.

A causa de una construcción lo más sencilla que sea posible de los transformadores de corriente y de las bobinas de reactancia compensadas en corriente con pequeñas dimensiones del núcleo, que se hace posible mediante las propiedades especiales del núcleo magnético conforme al invento, a base de unas aleaciones, que además no contienen ninguna proporción o solamente pequeñas proporciones del elemento Co más caro, así como con un devanado con unos números de arrollamientos relativamente bajos, él se puede producir además a un precio muy barato y por consiguiente es especialmente apropiado para las aplicaciones arriba mencionadas. Además de esto, la dependencia con respecto a la temperatura de las mencionadas propiedades es lo más pequeña que resulta posible.

En el caso de la estructuración de un transformador de corriente conforme al invento para una corriente primaria máxima preestablecida, se partió del hecho de que esta corriente es proporcional a la inducción de saturación específica para un material, a la sección transversal del núcleo e inversamente proporcional a la suma de los valores para la resistencia de carga y para la resistencia del arrollamiento secundario. El tamaño del núcleo (volumen) es el producto de la sección transversal del núcleo y de la longitud media del camino magnético. La masa del núcleo se establece a partir de esto mediante multiplicación por la densidad del material. Al mismo tiempo, la amplitud máxima de la corriente unipolar es proporcional a la inducción de saturación específica para un material y a la longitud media del camino magnético del núcleo, así como inversamente proporcional a la permeabilidad del material.

Se alcanzó en tal caso un mínimo error de fase que, de modo aproximado, hasta llegar a un valor para el error de fase de aproximadamente $\leq 8^\circ$, es proporcional a la suma arriba mencionada de las resistencias e inversamente proporcional a la permeabilidad. Además, se estableció como meta una inducción de saturación lo más grande que sea posible. Los materiales amorfos con aproximadamente 80% en átomos de Co poseen unos valores para la inducción de saturación de 0,8... 1 T. Una elevación de este valor permitiría un empujamiento del tamaño del núcleo magnético con una igual corriente máxima, o haría posible la elevación de la corriente máxima con un igual tamaño del núcleo.

En primer lugar, se supondrá que el tamaño del núcleo (el volumen del núcleo) permanece constante. Asimismo las magnitudes determinadas conjuntamente por regla general por el constructor de los contadores, tales como el número de arrollamientos secundarios, así como la resistencia de carga, no deben de ser modificadas. De esta manera el transformador de corriente, en el caso de una elevación de la inducción de saturación de 0,9 T a 1,2 T, tal como la presenta por ejemplo un material nanocristalino con 10% en átomos de Ni, podría reproducir una corriente primaria más alta en un 33%. Además, una de tales construcciones, permaneciendo constante la amplitud de corriente unipolar máxima con una inducción de saturación elevada y con un tamaño constante del núcleo, permitiría una permeabilidad más alta,

ES 2 297 407 T3

por ejemplo la elevación desde 1.500...3.000 en el caso de un material amorfo que tiene aproximadamente 80% en átomos de Co hasta 2.000...4.000 para un material nanocristalino con 10% en átomos de Ni. Ésta a su vez conduce a un error de fase más bajo en aproximadamente 25%, lo cual reduce manifiestamente el gasto para compensación en el contador de energía eléctrica. Si entonces se usa además la posibilidad de una disminución de la sección transversal de núcleo en un 25% para una corriente primaria máxima constante, así como se ajustan de manera correspondiente las relaciones de magnitudes con la finalidad de efectuar la reducción de la resistencia del arrollamiento secundario, entonces es posible, mientras que permanece constante la resistencia de carga, dividir por la mitad el error de fase desde 5° hasta por ejemplo 2,5°.

Los costos para el material del núcleo se podrían reducir en este caso, en el caso de la utilización de un material nanocristalino con 10% en átomos de Ni, a alrededor de 30% de los costos del material que se presentan en el caso de un núcleo a base de un material amorfo con aproximadamente 80% en átomos de Co.

Una forma preferida de realización de un núcleo magnético conforme al invento, que es apropiado en particular para su empleo en un transformador de corriente, prevé que el núcleo magnético se componga de una banda devanada a base de una aleación ferromagnética, en la cual por lo menos un 50% de la aleación es ocupado por finas partículas cristalinas con un tamaño medio de partículas de 100 nm o menos, preferiblemente de 50 nm o menos (una aleación nanocristalina), ella tiene una permeabilidad que es mayor que 1.000, de manera preferida de 1.500, y menor que 10.000, de manera preferida de 6.000, que es ajustada mediante un revenido en un campo magnético perpendicular a la dirección de la magnetización. La inducción de saturación es en este caso igual a 1 Tesla.

Otras formas de realización preferidas tienen además una magnetostricción en saturación $\lambda_s < 15$ ppm (preferiblemente < 10 ppm). Tales propiedades se pueden conseguir usualmente o bien solamente mediante unas caras aleaciones sobre la base de Co, mientras que en el caso de las aleaciones nanocristalinas con base de Fe el intervalo de permeabilidad en el caso de las aleaciones corrientes, es mayor que 10.000. La aleación para un núcleo magnético conforme al invento tiene una composición que ha de escribir esencialmente con la fórmula



en la que M es por lo menos uno de los elementos V, Nb, Ta, Ti, Mo, W, Zr, Cr, Mn y Hf, a, b, c, d, e, f, g se indican en % en átomos, X designa a los elementos P, Ge, C así como a las impurezas usuales en el comercio, y cumpliendo a, b, c, d, e, f, g, h las siguientes condiciones:

$$0 \leq b \leq 40$$

$$2 < c < 20$$

$$0,5 \leq d \leq 2;$$

$$1 \leq e \leq 6;$$

$$6,5 \leq f \leq 18;$$

$$5 \leq g \leq 14;$$

$$h < 5\% \text{ en átomos}$$

con $5 \leq b + c \leq 45$, siendo $a + b + c + d + e + f = 100$.

Son preferidos los núcleos magnéticos con una composición de la aleación con a, b, c, d, e, f, g, h, que cumple las siguientes condiciones:

$$0 \leq b \leq 20$$

$$2 < c \leq 15$$

$$0,5 \leq d \leq 2;$$

$$1 \leq e \leq 6;$$

$$6,5 \leq f \leq 18;$$

$$5 \leq g \leq 14;$$

$$h < 5\% \text{ en átomos}$$

con $5 \leq b + c \leq 30$, siendo $a + b + c + d + e + f = 100$.

ES 2 297 407 T3

Son especialmente preferidos los núcleos magnéticos con una composición de la aleación con a, b, c, d, e, f, g, h, que cumple las siguientes condiciones:

$$0 \leq b \leq 10$$

$$2 < c \leq 15$$

$$0,5 \leq d \leq 2;$$

$$1 \leq e \leq 6;$$

$$6,5 \leq f \leq 18;$$

$$5 \leq g \leq 14;$$

$$h < 5\% \text{ en átomos}$$

con $5 \leq b + c \leq 20$, siendo $a + b + c + d + e + f = 100$.

Unos resultados muy sobresalientes los proporcionan unos núcleos magnéticos cuyas composiciones de aleaciones cumplen las siguientes condiciones:

$$0,7 \leq d \leq 1,5;$$

$$2 \leq e \leq 4;$$

$$8 \leq f \leq 16;$$

$$6 \leq g \leq 12;$$

$$h < 2\% \text{ en átomos}$$

con $5 \leq b + c \leq 20$, siendo $a + b + c + d + e + f = 100$. Preferiblemente, las formas de realización tienen un contenido de Co que es menor que el contenido de Ni.

Se ha mostrado que en el caso de uno de tales núcleos magnéticos es muy pequeña la dependencia de la permeabilidad con respecto de la magnetización. El bucle de histéresis del núcleo magnético es por lo tanto muy estrecho y lineal. Esto presupone una relación lo más pequeña que sea posible de la inducción remanente a la inducción de saturación, en lo posible menor que 30% (preferiblemente de 20%) y unas pequeñas intensidades de campos coercitivos en lo posible de menos de 1 A/cm, mejor de 0,2 A/cm. Esto conduce a una constancia muy alta de los valores de la permeabilidad. Así la falta de linealidad de la permeabilidad es $\Delta\mu/\bar{\mu} < 15\%$ (mejor menor que 10%), siendo $\Delta\mu$ el mayor valor para la diferencia entre los valores mínimo y máximo de la permeabilidad a lo largo de todo el intervalo medible de la magnetización hasta aproximadamente 5% por debajo de la inducción de saturación de por ejemplo 1,2 Tesla, y representando $\bar{\mu}$ el valor medio de la permeabilidad en este intervalo de magnetización.

Un transformador de corriente con un núcleo magnético conforme al invento tiene, junto al núcleo magnético, por lo menos un arrollamiento primario y un arrollamiento secundario, con el que está conectada en paralelo una resistencia de carga y que cierra con un bajo valor de la resistencia eléctrica el circuito de corriente secundaria. Puesto que la permeabilidad del núcleo magnético en el intervalo mencionado es en lo esencial independiente de la magnetización, el error de fase absoluto y el error de amplitud absoluto de este convertidor de corriente con uno de tales núcleos magnéticos es en este caso casi constante a lo largo de un amplio intervalo de corrientes primarias. El error absoluto de amplitud puede ser menor que 1%. El error absoluto de fase puede ser menor que 5°. A causa de la buena linealidad, los valores absolutos de los errores de fase y de amplitud son fácilmente compensables mediante el sistema electrónico o mediante el sistema lógico del contador de energía eléctrica provisto de él, lo cual conduce a una alta precisión de medición para la potencia eléctrica.

A causa de la estructura nanocristalina, el núcleo magnético tiene una estabilidad sorprendentemente alta frente al envejecimiento, que permite una temperatura límite superior de aplicación para el núcleo magnético situada por encima de 120°C y en casos individuales incluso en torno a 150°C. Precisamente por esta razón, el convertidor de corriente con el núcleo magnético es apropiado para un empleo ampliamente por encima de la temperatura ambiente.

Las propiedades del núcleo magnético son sólo débilmente dependientes de la temperatura, discurriendo esta dependencia de nuevo de una manera ampliamente lineal. El coeficiente de temperatura para la permeabilidad debería tener en tal caso un valor absoluto de manifiestamente menos que 0,5%/K, preferiblemente menor que 0,2%/K.

El invento se basa también en el reconocimiento de que con la aleación que tiene la composición descrita, mediante un apropiado tratamiento térmico, se puede producir un núcleo magnético con las propiedades descritas. En tal caso se han de adaptar entre sí muchísimos parámetros, para que el núcleo magnético tenga las propiedades descritas.

Mediante la estructura bifásica nanocristalina producida en el tratamiento térmico se cumplen, al mismo tiempo que con una alta inducción de saturación y con una alta estabilidad térmica, las dos premisas fundamentales para unas buenas propiedades magnéticas blandas. El núcleo se produce preferiblemente a partir de unas bandas, que a su vez se producen a partir de una aleación conforme al invento.

El invento se explica con mayor detalle con ayuda de los ejemplos de realización representados en las Figuras del dibujo. Allí:

La Figura 1 muestra un diagrama de conexiones de reemplazo de un conocido transformador de corriente y los intervalos de diferentes datos técnicos que pueden aparecer durante el servicio,

la Figura 2 muestra la evolución de los campos magnéticos en el caso de un convertidor de corriente de acuerdo con la Figura 1,

la Figura 3 muestra la evolución del error de amplitud (en %) y del error de fase (en °) en función de la corriente primaria (en A) para una corriente primaria nominal I_{primN} de 640 A,

la Figura 4 muestra la evolución del error de amplitud (en %) y del error de fase (en °) en función de la corriente primaria (en A) para una corriente primaria nominal I_{primN} de 400 A, y

la Figura 5 muestra el bucle de histéresis para una aleación preferida de acuerdo con el invento.

En lo que sigue se considera a modo de ejemplo el campo de aplicaciones de “transformadores de corriente con una tolerancia a la corriente continua para contadores electrónicos de energía eléctrica”. En el caso de las investigaciones pertinentes se ha mostrado que en el caso de los clásicos transformadores de corriente, conocidos desde hace mucho tiempo, con unos núcleos altamente permeables, no es posible el cumplimiento de los requisitos de la serie de normas IEC 62053 en cuanto a tolerancia a la corriente continua. Estas normas decisivas para los requisitos de contadores electrónicos domésticos con conexión directa, piden que también en el caso de la presencia de corrientes sinusoidales rectificadas en una semionda (es decir, puramente unipolares) debe ser posible la determinación de la energía eléctrica.

Aquí fracasan los clásicos transformadores de corriente, puesto que los núcleos muy permeables se saturan con mucha rapidez por medio del flujo unipolar que se constituye. Con una permeabilidad decreciente del material del núcleo, disminuye, junto con la inductividad, también la constante de tiempo de la caída de flujo, de modo que se buscaba la solución al problema en la utilización de aleaciones amorfas de baja permeabilidad. Es desventajoso aquí, sin embargo, el precio comparativamente alto, que es condicionado principalmente por la banda amorfa con aproximadamente 80% de Co.

El punto de partida de las deliberaciones es por lo tanto encontrar una variante de aleación alternativa de permeabilidad muy baja (con μ preferiblemente alrededor de 1.500...6.000), que sea apropiada para reemplazar a las bandas sobre la base de Co de baja permeabilidad amorfas, con manifiestas ventajas de costos.

Es importante en este caso el esclarecimiento de la cuestión de si la linealidad que se puede conseguir se aproxima tanto a la de las bandas sobre la base de Co, excelentes en este aspecto, de manera tal que se puedan cumplir los requisitos en cuanto a la precisión de la medición de la energía eléctrica. Con alguna seguridad se puede esperar que la más alta inducción de saturación se puede transferir por la vía de una optimización en la respectiva aplicación. Una premisa es una funcionalidad irreprochable según la IEC 62053, que hasta ahora tiene una considerable ventaja técnica frente al empleo de los baratos núcleos de ferritas.

En primer lugar, se investigaron unas bandas, que se hacen variar en su contenido de Si así como en su contenido de Nb. El programa de los ensayos comprendía en cada caso dos núcleos de cada variante con 2 diferentes temperaturas en el caso del tratamiento térmico (WB, de Wärmebehandlung) en campo transversal (QFde QuerFeld) y 3 composiciones de aleaciones. En el marco de la variación de las aleaciones a modo de ensayos aleatorios, se moldearon por colada unas bandas con una anchura de 6,2 mm a base de aleaciones de ensayo y se transformaron en núcleos de bandas anulares. Éstos se trataron a diferentes temperaturas en el campo transversal para conseguir un bucle de histéresis lo más aplanado que sea posible. Primeramente se determinaron las permeabilidades medias μ_{av} (av de average) conseguidas así como otros parámetros de base (véase la Tabla 1):

Tabla 1: Aleaciones con adiciones de V y de Ni

Núcleo nº	Fe	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	T _{QF} [°C]	B _{max} [T]	B _r / B _m	H _d [mA/cm]	H _a [A/cm]	μ (av)	□ _s [ppm]
1A	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	540	1,12	0,008	13	1,75	5.083	4,4
1B	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	570	1,13	0,009	15	2,01	4.463	2,8
2A	Resto	10	1	3	0	12,5	8	540	1,19	0,008	19	2,95	3.198	7,7
2B	Resto	10	1	3	0	12,5	8	570	1,20	0,011	35	3,49	2.735	6,7
3A	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	1,20	0,016	59	3,71	2.578	6,5
3B	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	1,20	0,057	216	3,94	2.425	5,8

ES 2 297 407 T3

Al comienzo de la investigación, se introdujeron todos los núcleos sin tensión en artesas sin agentes de relleno, que a continuación fueron devanados apropiadamente para las mediciones de las linealidades, siendo considerados en primer lugar los valores a 25°. Los resultados se recopilan en la Tabla 2.

TABLA 2

Aleaciones con adiciones de V y Ni y linealidad “sin fijar” (sin tensión en la artesa)

Núcleo n°	Fe	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	T _{QF} [°C]	μ _{media}	Δμ/μ _{media} [%]
1A-1	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	540	5598	6,13
1A-2	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	540	5605	6,24
1B-1	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	570	4919	6,97
1B-2	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	570	4888	6,79
2A-1	Resto	10	1	3	0	12,5	8	540	3549	5,49
2A-2	Resto	10	1	3	0	12,5	8	540	3523	5,52
2B-1	Resto	10	1	3	0	12,5	8	570	3033	4,12
2B-2	Resto	10	1	3	0	12,5		570	2981	3,48
3A-1	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	2724	5,88
3A-2	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	2714	5,46
3B-1	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	2282	12,5
3B-2	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	2300	12,5

Para una mejor visión de conjunto, la linealidad de las evoluciones de las curvas es expresada por la dimensión de $\Delta\mu/\mu_{media}$, no siendo incluidos en la formación del valor medio los dos últimos puntos de datos a la entrada en la saturación. Los núcleos magnéticos muestran en su mayor parte una linealidad, que es apropiada para asegurar, en el caso de la aplicación de los núcleos para transformadores de corriente en contadores electrónicos de energía eléctrica, la precisión solicitada de la medición de la energía eléctrica a lo largo de un amplio intervalo de corrientes. Una excepción la constituye la variante 3B, en la cual se consiguió con 12,5% un valor relativamente alto, que tiene como causa presumiblemente un atemperamiento excesivo en el campo transversal.

Con el fin de determinar la influencia de la fijación referida a una aplicación, a continuación un núcleo de cada una de las variantes se revistió con una capa aislante de material sintético o se introdujo en una artesa adaptada de material sintético con un pegamento elástico y blando y se devanó / midió de nuevo. En tal caso resultaron unos cuadros manifiestamente distintos para el comportamiento de linealidad de los núcleos, lo cual se puede observar a partir de las dos siguientes Tablas 3 y 4:

TABLA 3

Linealidad fijada cerca de la fabricación (capa de material sintético)

Tipo de núcleo / n°	Fe	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	T _{QF} [°C]	μ _{media}	Δμ/μ _{media} [%]
1A-1	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	540	10170	151
1B-1	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	570	8403	138
2A-1	Resto	10	1	3	0	12,5	8	540	6555	161
2B-1	Resto	10	1	3	0	12,5	8	570	4881	129
3A-1	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	3696	82,9
3B-1	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	2262	35,1

TABLA 4

Linealidad fijada cerca de la fabricación (artesa de material sintético con un pegamento elástico blando)

Tipo de núcleo/nº	Fe	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	T _{QF} [°C]	μ media	Δμ/μ _{media} [%]
1A-2	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	540	5716	13,2
1B-2	Resto	10	1	3	0	15,9	6,6	570	4947	5,15
2A-2	Resto	10	1	3	0	12,5	8	540	3587	5,46
2B-2	Resto	10	1	3	0	12,5	8	570	3033	3,06
3A-2	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	540	2699	6,74
3B-2	Resto	10	1	1,5	1,5	12,5	8	570	2305	12,7

La Tabla 3 muestra una influencia muy manifiesta de la capa de material sintético sobre la linealidad de las líneas características. Por encima de la magnetostricción producida por medio de la adición de Ni, el material reacciona de una manera tan fuerte a la tensión de contracción de la capa que solidifica a aproximadamente 120°C y que se contrae al enfriar, que las linealidades resultantes ya no aparecen como convenientes para un empleo en un transformador de corriente de precisión. Las desviaciones desde la linealidad alcanzan unos valores que están situados en un factor desde 9 hasta más de 50 por encima de los valores que sirven como comparación, de aleaciones de base de Co amorfas sin magnetostricción.

Un comportamiento manifiestamente más favorable es producido mediante la fijación en una artesa. Aquí, en el caso de la utilización de un pegamento elástico y blando las faltas de linealidad aumentan solamente como máximo en un factor de 2. En cualquier caso las variantes 1B, 2A, 2B y 3A a la temperatura ambiente aparecen como convenientes para el empleo como transformadores de corriente altamente lineales. Para las deliberaciones más amplias acerca del empleo a lo largo de un amplio intervalo de temperaturas (p. ej. de -40°C a +70°C) se consideraron asimismo las propiedades térmicas de la permeabilidad compleja. Por ejemplo, las evoluciones para el núcleo 2A-2 indican un coeficiente negativo de temperatura para la permeabilidad, que evoluciona de modo casi lineal entre -40°C y 85°C y que tiene para el núcleo 2B-2 un valor de aproximadamente -0,1%/K. El valor es válido tanto para una amplitud del campo excitador de 4 mA/cm como también para 15 mA/cm. Se encontró que un coeficiente positivo de temperatura para el transformador de corriente es favorable, por cuanto que él a una temperatura creciente se comporta de manera opuesta a la resistencia creciente del alambre de cobre y por consiguiente reduce el error de fase. Al realizar la estructuración de los transformadores de corriente, se debe prestar atención especialmente por lo tanto a la resultante variación mayor de los errores con la temperatura. En el caso de la utilización del pegamento elástico y blando se mostró que una modificación de la temperatura, tanto a altas temperaturas como también a bajas temperaturas, conduce a adicionales desviaciones desde la linealidad de los errores del convertidor. Aquí aparecen en el núcleo unas tensiones de tracción o respectivamente de compresión, que se transmiten a causa del comportamiento elástico del pegamento endurecido, desde el material de la artesa. Una manifiesta disminución de este efecto se podría realizar mediante el recurso de como masa de relleno, en vez del pegamento reactivo elástico y blando, se utilizó una pasta no reactiva plástica y blanda. Por consiguiente, los valores de la linealidad se pudieron mantener casi constantes dentro del intervalo de temperaturas de -40°C a +85°C.

Una manifiesta ventaja del material nanocristalino es la variabilidad de la permeabilidad, que en el caso de una fijación en artesa ha de transportarse a la aplicación también con una satisfactoria linealidad. Mediante los intervalos de modulación útiles ampliados un transformador de corriente tolerante a la corriente continua se puede adaptar con facilidad a un valor óptimo de la capacidad de drenaje. Con el fin de mejorar las linealidades, se puede hacer más pequeña también la magnetostricción, cuando se reduce el porcentaje del níquel añadido desde 10%, para llegar a unas permeabilidades de 4.000 y respectivamente 6.400.

Las Figuras 3 y 4 muestran la evolución del error de amplitud (en %) y del error de fase (en °) en función de la corriente primaria (en A) para diferentes corrientes primarias nominales I_{primN} de 640 A (Figura 3) y 400 A (Figura 4).

La Figura 5 muestra finalmente el bucle de histéresis (flujo magnético B en T a través de la intensidad de campo H en A/cm) para una aleación con 65,2% en átomos de Fe, 12% en átomos de Ni, 0,8% en átomos de Cu, 2,5% en átomos de Nb, 11,5% en átomos de Si y 8% en átomos de B. Esta aleación es comparada a otras aleaciones conformes al invento en la Tabla 5, representando QF un tratamiento en campo transversal y LF un tratamiento en campo longitudinal. Las aleaciones caracterizadas con * son aleaciones comparativas, que no pertenecen al invento.

Siempre es necesario un tratamiento térmico en el campo transversal (tratamiento en campo transversal QF), pudiéndose ajustar la permeabilidad a deseo con un tratamiento térmico adicional en el campo longitudinal (tratamiento en campo longitudinal LF), que puede tener lugar antes o después del tratamiento en campo transversal. Esto tiene la ventaja de que a partir de la misma aleación se pueden producir núcleos con diferentes propiedades y por consiguiente diferentes clases de transformadores de corriente (clases de corrientes). La combinación de la temperatura y la duración del tratamiento en el campo transversal debería tener siempre una influencia más fuerte que la temperatura y que la duración del tratamiento en campo longitudinal.

N°	Fe	Co	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	WB	B _m (T)	B _r /B _m	H _c (A/cm)	μ	TK (%/°C)	λ _s (ppm)
1	75,5		0	1	3		12,5	8	0,5h 550°C QF	1,32	0,006	0,005	10600	-0,25	4,4
2	70,5		5	1	3		12,5	8	0,5h 550°C QF	1,28	0,001	0,008	5020	-0,18	-
3a	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5h 570°C QF	1,23	0,006	0,019	2630	-0,13	-
3b	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5h 550°C QF	1,21	0,001	0,005	2837	-0,17	-
3c	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5h 540°C QF	1,19	0,008	0,019	3200	-0,16	7,7
3d	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5h 550°C LF + 3h 500°C QF	1,21	0,001	0,015	6080	-0,05	-
3e	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5h 550°C LF + 3h 460°C QF	1,20	0,003	0,030	7140	-0,01	-
3f	65,5		10	1	3		12,5	8	0,5h 550°C LF + 3h 423°C QF	1,20	0,002	0,018	8360	0,03	-
4	65,5		10	1	1,5	1,5	12,5	8	0,5h 540°C QF	1,20	0,016	0,059	2578	-0,16	6,5
5a	60,5		15	1	3		12,5	8	0,5h 550°C QF	1,12	0,005	0,026	1860	-0,12	-
5b	60,5		15	1	3		12,5	8	0,5h 550°C LF + 3h 500°C QF	1,12	0,036	0,073	4590	0,03	-
5c	60,5		15	1	3		12,5	8	0,5h 550°C LF + 3h 460°C QF	1,12	0,036	0,061	5420	-0,001	-
5d	60,5		15	1	3		12,5	8	0,5h 550°C LF + 3h 423°C QF	1,12	0,044	0,031	6490	0,02	-
6	55,5		20	1	3		12,5	8	0,5h 550°C QF	0,18	0,140	1,14	175		
7	64,5		10	1	3		14	7,5	0,5h 550°C QF	1,10	0,005	0,012	3520	-0,15	-
8	66		10	1	3		11	9	0,5h 550°C QF	1,25	0,001	0,003	2617	-0,15	8,7
9a	63,5		10	1	3		15,9	6,6	0,5h 550°C QF	1,14	0,002	0,003	4307	-0,12	-
9b	63,5		10	1	3		15,9	6,6	0,5h 540°C QF	1,12	0,008	0,013	5080	-0,09	4,4
10	63,5		10	1	1,5	1,5	15,9	6,6	0,5h 540°C QF	1,12	0,011	0,026	3400	-0,12	3,1
11	66,7		10	0,8	3		11,5	8	0,5h 550°C QF	1,23	0,000	0,002	2610	-0,14	8,1
12	67		10	0,8 2,7			11,5	8	0,5h 550°C QF	1,27	0,001	0,003	2610	-0,13	-
13	69,2		8	0,8	2,5		11,5	8	0,5h 550°C QF	1,32	0,012	0,041	3090	-0,12	7,6
14	67,2		10	0,8 2,5			11,5	8	0,5h 550°C QF	1,29	0,006	0,022	2650	-0,12	-
15	65,2		12	0,8 2,5			11,5	8	0,5h 550°C QF	1,26	0,004	0,019	2230	-0,11	8,8

N°	Fe	Co	Ni	Cu	Nb	V	Si	B	WB	B _m (T)	B _i /B _m	H _c (A/cm)	μ	TK (%°C)	λ _g (ppm)
16	63,2		14	0,8	2,5		11,5	8	0,5h 550°C QF	1,16	0,110	0,620	1720	0,09	-
17	67,4		10	0,8 2,3			11,5	8	0,5h 550°C QF	1,30	0,016	0,063	2610	-0,09	-
18	67,6		10	0,8 2,1			11,5	8	0,5h 550°C QF	1,30	0,064	0,253	2600	0,04	-
19	66,8		10	0,8	2,9		11,5	8	0,5h 550°C QF	1,25	0,012	0,041	2787	-0,14	7,9
20	61,8	5	10	0,8	2,9		11,5	8	0,5h 550°C QF	1,25	0,008	0,039	2045	-0,13	10,7
21	56,8	10	10	0,8	2,9		11,5	8	0,5h 550°C QF	1,24	0,012	0,073	1627	-0,15	12,5
22	46,8	20	10	0,8	2,9		11,5	8	0,5h 550°C QF	1,22	0,015	0,127	1097	-0,16	20,5
23	36,8	30	10	0,8 2,9			11,5	8	0,5h 550°C QF	1,17	0,208	0,208	845	-0,17	23,5
24	26,8	40	10	0,8	2,9		11,5	8	0,5h 550°C QF	1,03	0,040	0,519	582	-0,46	22

ES 2 297 407 T3

Los valores expuestos en la anterior Tabla 5 significan aquí:

1. QF = tratamiento térmico en un campo magnético transversal, LF = tratamiento térmico en un campo magnético longitudinal

2. El Bm se midió con una intensidad máxima de campo de $H_m = 8$ A/cm para los Ejemplos 1 a 21 y de $H_m = 32$ A/cm para los Ejemplos 22 a 24.

3. μ designa a la permeabilidad media, definida como la pendiente media de la curva de histéresis

4. N° 1 y n° 6 son ejemplos comparativos que NO son conformes al invento.

La numeración de las aleaciones de la Tabla 5 se diferencia de las que aparecen en las Tablas 1-4. Por lo tanto, los valores de las permeabilidades entre la Tabla 5 y las otras Tablas se pueden diferenciar con facilidad, puesto que se trata de diferentes series de ensayos.

Con los núcleos magnéticos conformes al invento se pueden producir unos transformadores de corriente, en los cuales la amplitud máxima que se puede reproducir sin deformación de una corriente primaria sinusoidal rectificada en una semionda, se desvían desde el valor numérico por lo menos en un 10%, mejor en un 20% del valor efectivo de la corriente primaria sinusoidal bipolar máxima reproducible sin deformación.

REIVINDICACIONES

1. Núcleo magnético con un bucle de B-H lineal y con una alta capacidad de modulación en los casos de corriente alterna y de corriente continua, que tiene una permeabilidad relativa μ que es mayor que 500 y menor que 15.000, que tiene una magnetostricción en saturación λ_s , cuyo valor es menor que 15 ppm, y que se compone de una aleación ferromagnética, en la cual por lo menos un 50% de la aleación es ocupado por partículas cristalinas con un tamaño medio de partículas de 100 nm o menos (aleación nanocristalina) y que es **caracterizada** por la fórmula



en la que

M es por lo menos uno de los elementos V, Nb, Ta, Ti, Mo, W, Zr, Cr, Mn y Hf,

a, b, c, d, e, f, g se indican en % en átomos,

X designa a los elementos P, Ge, C así como a las impurezas usuales en el comercio y a, b, c, d, e, f, g, h cumplen las siguientes condiciones:

$$0 \leq b \leq 40$$

$$2 < c < 20$$

$$0,5 \leq d \leq 2;$$

$$1 \leq e \leq 6;$$

$$6,5 \leq f \leq 18;$$

$$5 \leq g \leq 14;$$

$$h < 5\% \text{ en átomos}$$

con $5 \leq b + c \leq 45$, siendo $a + b + c + d + e + f = 100$.

2. Núcleo magnético de acuerdo con la reivindicación 1, cumpliendo a, b, c, d, e, f, g, h las siguientes condiciones:

$$0 \leq b \leq 20$$

$$2 < c \leq 15$$

$$0,5 \leq d \leq 2;$$

$$1 \leq e \leq 6;$$

$$6,5 \leq f \leq 18;$$

$$5 \leq g \leq 14;$$

$$h < 5\% \text{ en átomos}$$

con $5 \leq b + c \leq 30$, siendo $a + b + c + d + e + f = 100$.

3. Núcleo magnético de acuerdo con una de las precedentes reivindicaciones, cumpliendo a, b, c, d, e, f, g, h las siguientes condiciones:

$$0 \leq b \leq 10$$

$$2 < c \leq 15$$

$$0,5 \leq d \leq 2;$$

$$1 \leq e \leq 6;$$

$$6,5 \leq f \leq 18;$$

$$5 \leq g \leq 14;$$

$$h < 5\% \text{ en átomos}$$

ES 2 297 407 T3

con $5 \leq b + c \leq 20$, siendo $a + b + c + d + e + f = 100$.

4. Núcleo magnético de acuerdo con una de las precedentes reivindicaciones, en el que a, b, c, d, e, f, g y h cumplen las siguientes condiciones:

$$0,7 \leq d \leq 1,5;$$

$$2 \leq e \leq 4;$$

$$8 \leq f \leq 16;$$

$$6 \leq g \leq 12; \text{ con}$$

$$h < 2$$

5. Núcleo magnético de acuerdo con una de las precedentes reivindicaciones, en el que el contenido de Co es menor o igual que el contenido de Ni.

6. Núcleo magnético de acuerdo con una de las precedentes reivindicaciones, en la forma de un núcleo de banda anular, que está devanado a partir de una banda con un grosor menor que $50 \mu\text{m}$.

7. Núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual el valor de la intensidad de campo coercitivo H_c es menor que 1 A/cm .

8. Núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual la relación de remanencias es menor que 0,1.

9. Núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, que tiene una permeabilidad relativa μ , que es mayor que 1.000 y menor que 10.000.

10. Núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, que tiene una permeabilidad relativa μ , que es mayor que 1.500 y menor que 6.000.

11. Núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la magnetostricción en saturación λ_s es menor que ppm.

12. Núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que por lo menos un 50% de la aleación es ocupado por finas partículas cristalinas con un tamaño medio de partículas de 50 nm o menos.

13. Núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12, en el cual él está equipado como un núcleo anular, un núcleo ovalado o un núcleo rectangular, sin entrehierro, cerrado.

14. Núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 13, que ha sido fijado en una artesa.

15. Núcleo magnético de acuerdo con la reivindicación 14, habiéndose previsto para la fijación del núcleo un pegamento reactivo elástico y blando y/o una pasta no reactiva plástica y blanda.

16. Procedimiento para la producción de un núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 15, en el cual se efectúa un tratamiento térmico en un campo magnético transversal.

17. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16, en el cual se efectúa además un tratamiento térmico en un campo magnético longitudinal.

18. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16 o 17, en el cual el tratamiento térmico en el campo transversal se efectúa antes que el tratamiento térmico en el campo longitudinal.

19. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 16 o 17, en el que el tratamiento térmico en el campo transversal se efectúa después que el tratamiento térmico en el campo longitudinal.

20. Transformador de corriente para corriente alterna con un núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 15, teniendo el transformador de corriente, junto con el núcleo magnético como núcleo de transformador, un arrollamiento primario y por lo menos un arrollamiento secundario, estando cerrado el arrollamiento secundario con una baja resistencia eléctrica mediante una resistencia de carga y/o un sistema electrónico de medición.

21. Transformador de corriente de acuerdo con la reivindicación 20, que tiene un error de fase de como máximo $7,5^\circ$ en el caso de una conexión de acuerdo con las estipulaciones y las mediciones con una resistencia de carga y/o un sistema electrónico de medición.

ES 2 297 407 T3

22. Transformador de corriente de acuerdo con la reivindicación 21, que tiene un error de fase de como máximo 5° en el caso de un conexión de acuerdo con las estipulaciones y las mediciones con una resistencia de carga y/o un sistema electrónico de medición.

5 23. Bobina de reactancia compensada en corriente con un núcleo magnético de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 15, teniendo la bobina de reactancia, junto con el núcleo magnético (M), por lo menos dos arrollamientos.

10 24. Bobina de reactancia compensada en corriente de acuerdo con la reivindicación 23, teniendo la bobina de reactancia, incluso al fluir una corriente de derivación de por lo menos 10% de la corriente nominal, una amortiguación de inserción de por lo menos 20 dB en el intervalo de frecuencias de 150 kHz a 1 MHz.

15 25. Bobina de reactancia compensada en corriente de acuerdo con la reivindicación 24, teniendo la bobina de reactancia, incluso al fluir una corriente de derivación de por lo menos 20% de la corriente nominal, una amortiguación de inserción de por lo menos 20 dB en el intervalo de frecuencia de 150 kHz a 1 MHz.

15

20

25

30

35

40

45

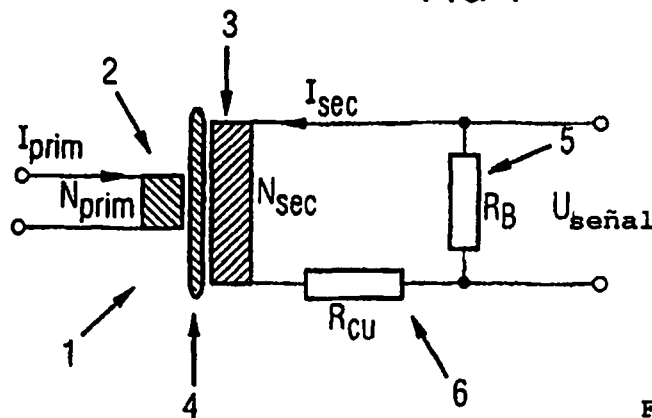
50

55

60

65

FIG 1

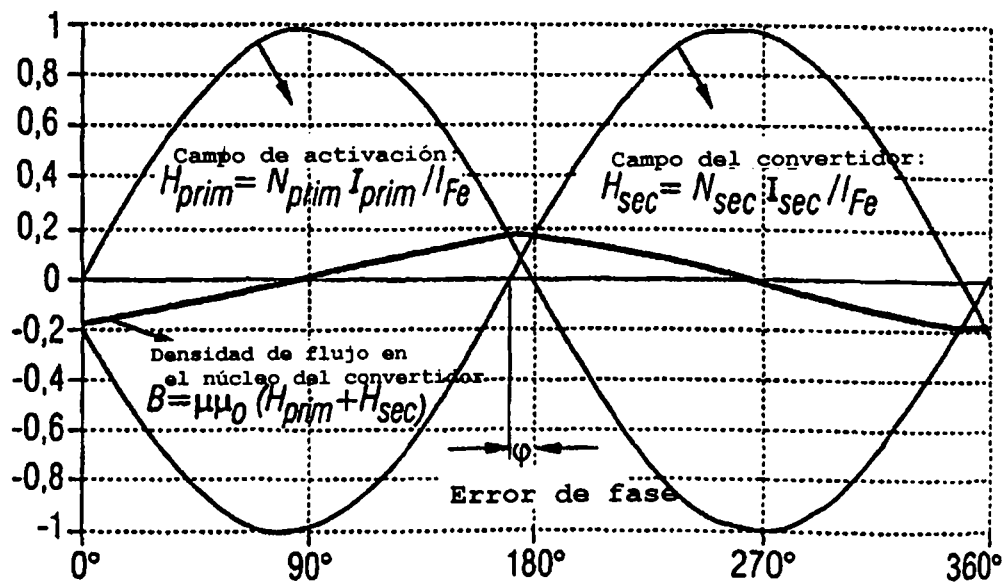


Datos típicos

$N_{prim} : 1 \dots 6$
 $I_{prim} : 5A_{eff} \dots 120A_{eff} \text{ (max.)}$
 $N_{sec} : 500 \dots 4000$
 $I_{sec} \approx -I_{prim} \cdot N_{prim} / N_{sec}$
 $R_B : 1\Omega \dots 200\Omega \text{ (Carga)}$
 $R_{cu} : 1\Omega \dots 200\Omega \text{ (Arrollamiento)}$
 $U_{señal} : 300 mV_{eff} \text{ (max.)}$
 Frecuencia: 50 / 60 Hz

$$\frac{B}{\mu\mu_0 \hat{H}_{prim}}$$

FIG 2



Amplitud y error de fase calculados de un transformador de corriente para un medidor electrónico de vatios - hora

"Medidor monofásico" para 60 Hz con $U_B = 0,7 \text{ V} @ I_{prim N}$

V.2 con tolerancia parcial a CC y un DI = 27 mm

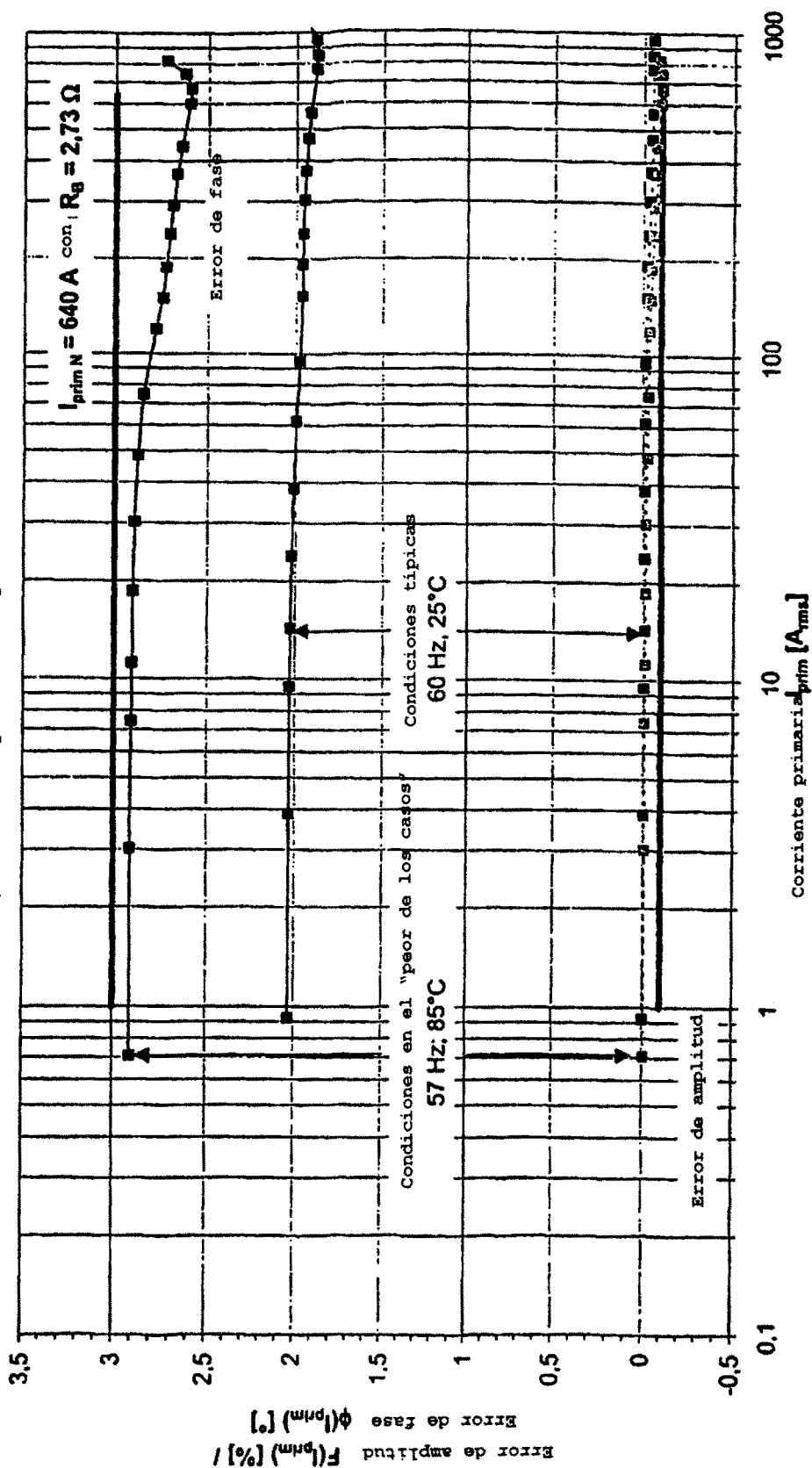


FIG 3

Amplitud y error de fase calculados de un transformador de corriente para un medidor electrónico de vatios - hora

"Medidor monofásico" para 60 Hz con $U_B = 0,7 \text{ V} @ I_{prim N}$
V.2 con tolerancia parcial a CC y un DI = 27 mm

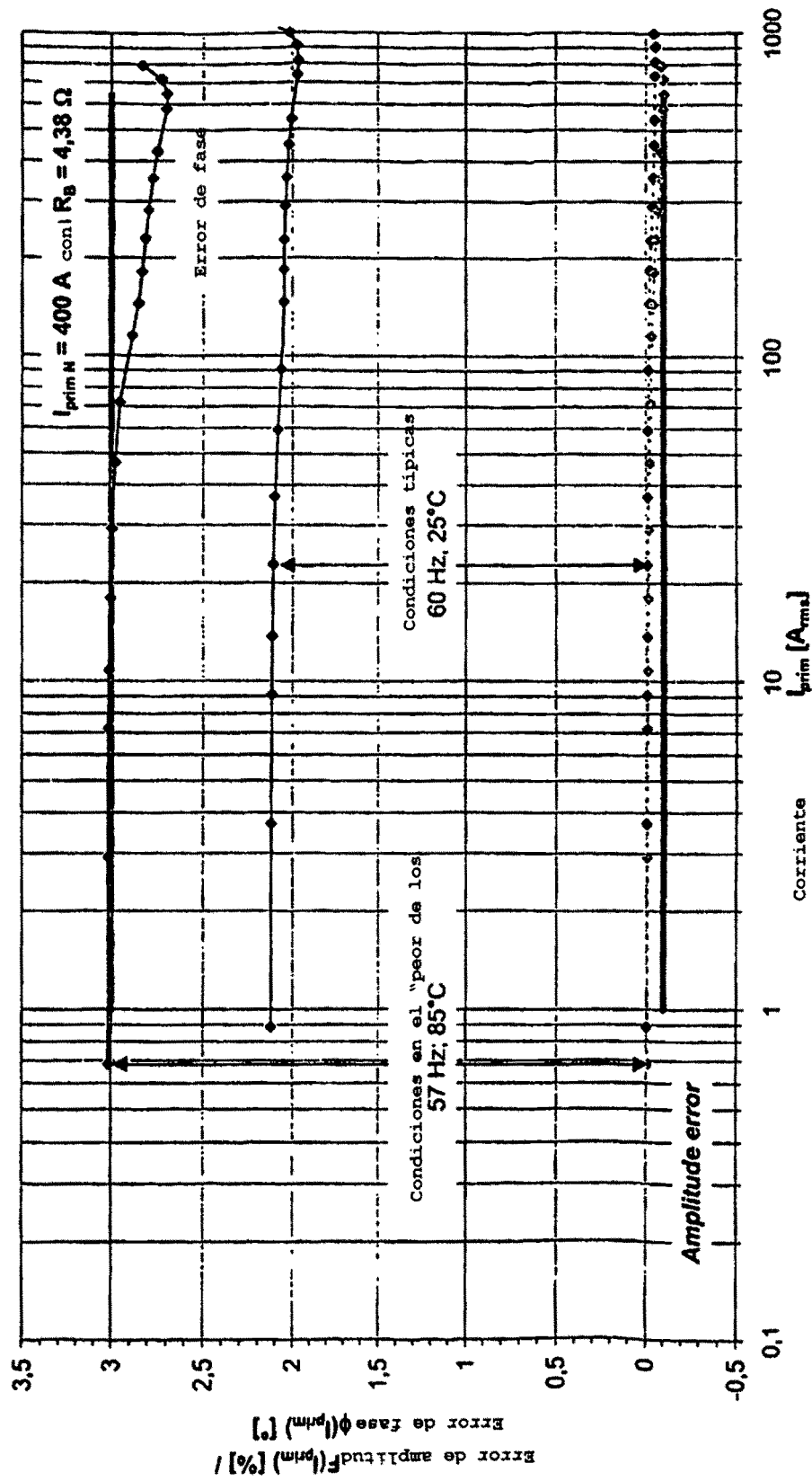


FIG 4

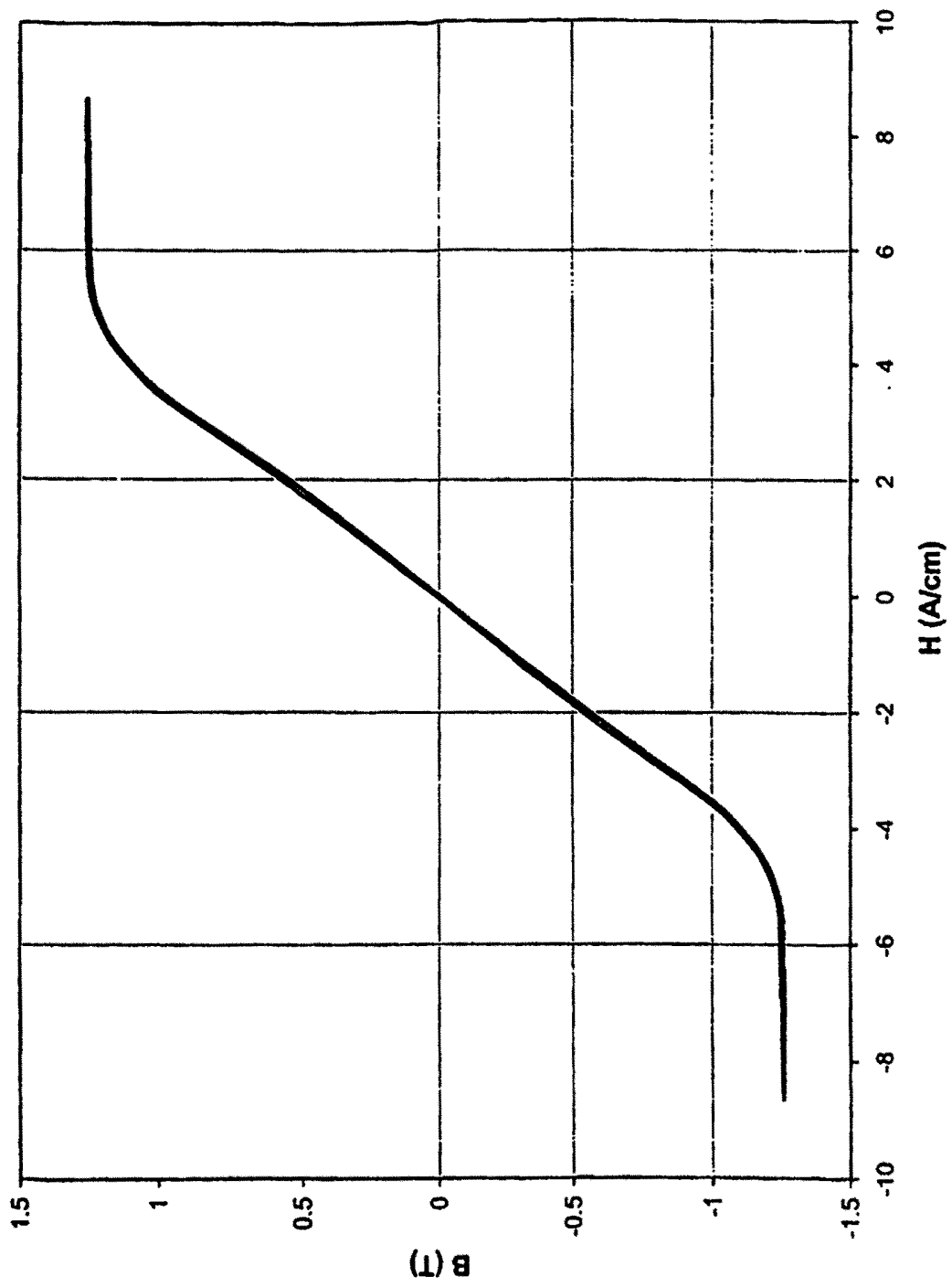


FIG 5