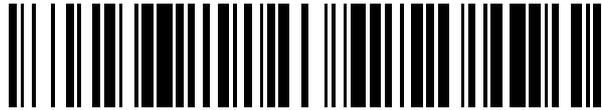


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 442 784**

51 Int. Cl.:

G01R 15/24 (2006.01)

G01R 35/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2004** **E 12166950 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2013** **EP 2500736**

54 Título: **Calibración del sensor de fibras óptica de efecto Faraday**

30 Prioridad:

12.05.2003 EP 03010594

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

13.02.2014

73 Titular/es:

**POWERSENSE A/S (100.0%)
Skovlytoften 33
2840 Holte, DK**

72 Inventor/es:

BJØRN, LARS NØRGAARD

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 442 784 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

Calibración del sensor de fibras óptica de efecto Faraday

La presente invención se refiere a un procedimiento de calibración de un sistema de sensor de corriente que incluye un sensor óptico Faraday de corriente.

5 La industria eléctrica tiene necesidad de estaciones transformadoras de monitorización para subidas de tensión y para la medición de grandes impulsos de corriente. Con estos fines un sensor de corriente de Efecto Faraday tiene varias ventajas. Un sensor de corriente de Efecto Faraday puede ser construido con materiales dieléctricos, lo que es de gran importancia cuando se mide con corrientes elevadas en presencia de interferencia electromagnética sustancial. Los sensores de corriente de Efecto Faraday pueden emplear una bobina de una fibra óptica o varias
10 fibras ópticas formadas de un material que muestra el Efecto Faraday en respuesta a un campo magnético generado por una corriente eléctrica. Varias publicaciones de patentes de la técnica anterior describen sensores ópticos Faraday de corriente, tal como las publicaciones de los EE.UU. US 4.894.608, US 5.051.577, US 5.486.754, US 5.811.964, US 6.043.648.

15 En un sensor de corriente de efecto Faraday, el plano de polarización de una luz incidente polarizada experimenta una rotación que es función del campo magnético creado por la corriente eléctrica que ha de medirse.

Puede determinarse la corriente que ha de ser medida determinando el ángulo de rotación del plano de polarización de la luz a la salida del sensor óptico. Cuando la luz atraviesa una barra de vidrio, la luz experimenta una rotación. Puede describirse el ángulo de rotación mediante la fórmula:

$$\beta = V \times B \times d$$

20 en la que β es el ángulo de rotación, d es la longitud del elemento sensor, V la constante de material de la barra de vidrio denominada constante de Verdet y B es el campo magnético, descrito como un vector. La constante de Verdet depende tanto de la temperatura como de la longitud de onda.

25 En un sensor de corriente de Efecto Faraday, una fuente lumínica genera luz a la que se hace atravesar un filtro de polarización o que es polarizada de otra forma antes de que atravesase el material sensible magneto-óptico. La luz incidente polarizada experimenta una rotación que es función del campo magnético creado por la corriente eléctrica que ha de medirse. Puede determinarse la corriente que ha de ser medida midiendo el ángulo de rotación del plano de polarización de la luz a la salida del sensor óptico Faraday de corriente.

30 El sensor de fibra óptica de corriente que incluye la fuente lumínica y el detector es sensible, entre otras cosas, al ruido óptico en el circuito de detección, al ruido eléctrico en la fuente lumínica, a interferencia de campos magnéticos procedentes de inductores y sistemas cercanos, al montaje y la instalación del sensor, a la forma y el diámetro del conducto, a las tolerancias de producción del sensor, al efecto de la temperatura en la constante de Verdet, al efecto de la temperatura sobre la fuente lumínica y el detector, a la degradación de la fuente lumínica y del detector en la vida útil del producto.

35 La determinación de la corriente que ha de medirse está sujeta a varias fuentes de error. Cualquier sistema basado en la óptica o en circuitos eléctricos es sensible al ruido y a otras degradaciones de señales, tales como el ruido óptico o la interferencia de fuentes electromagnéticas. Un sistema que comprenda una fuente lumínica, una unidad fotodetectora y un conducto óptico tal como una fibra óptica puede sufrir pérdida de sensibilidad debido a la atenuación óptica causada por defectos en el material usado para formar un conducto o un dispositivo ópticos, tales como lentes o fibras ópticas. Las fuentes lumínicas y la circuitería fotodetectora pueden estar expuestas al ruido eléctrico o a interferencia de campos magnéticos procedentes de inductores o sistemas cercanos o, alternativamente, a ruido causado por fluctuaciones en la alimentación eléctrica. También las condiciones ambientales como la temperatura pueden tener un efecto en propiedades del material, tales como la constante de Verdet, y también un efecto en el ruido generado en la fuente lumínica y en la circuitería fotodetectora. Además, todos los componentes eléctricos y las fuentes lumínicas y los elementos fotodetectores sufren degradación con el tiempo. Todos los factores mencionados anteriormente contribuyen a una precisión reducida de las mediciones
45 llevadas a cabo por el sistema.

50 Se contempla que una calibración previa al inicio de las mediciones y a la monitorización de una estación transformadora usando un sensor óptico Faraday de corriente dé una determinación más precisa de la corriente en el conductor eléctrico. Además, una medición precisa depende de contar con una fuente lumínica estable que produzca una cantidad constante de luz o, alternativamente, de la determinación del cambio de la intensidad de la luz procedente de la fuente lumínica, así como los cambios de la intensidad lumínica causados por variaciones de la temperatura.

Un sistema para monitorizar una estación transformadora puede estar dotado de una unidad de recogida de datos y de transmisión de datos para transmitir los datos recogidos a uno o más ordenadores que monitorizan varias estaciones transformadoras. Estas unidades de comunicación pueden estar constituidas por conexiones

inalámbricas o conexiones fijas tales como redes POTS/PSTN. La comunicación desde el sistema de medición montado en las estaciones transformadoras individuales hasta un ordenador central puede incluir información sobre cargas medias, picos de corriente, corriente real para líneas de corriente de alta tensión, dirección de la energía, corrientes máximas, tensiones reales, temperatura ambiente y sellos de tiempo para toda la información mencionada anteriormente. Además, el sistema de medición puede incluir una función de alerta para alertar a un operario de una empresa de suministro de energía sobre situaciones en las que la corriente pico esté por encima de un umbral máximo dado o, alternativamente, por debajo de un umbral mínimo, una situación en la que la tensión esté por encima de un umbral máximo o, alternativamente, por debajo de un umbral mínimo u otra información, tal como que las temperaturas ambiente estén fuera de intervalo, todo lo cual indica algún fallo o alguna avería en la estación transformadora.

La unidad de comunicación proporciona además la oportunidad de llevar a cabo una configuración remota del sistema, dando a un operario de la posibilidad de configurar el sistema, por ejemplo definiendo niveles para las corrientes pico, niveles de tensión de desactivación, valores de tiempo de espera y opciones de alerta.

El sistema esbozado anteriormente también puede ser empleado en industrias tales como molinos de viento o en centrales eléctricas tales como centrales alimentadas por carbón o nucleares, y no está limitado a aplicaciones en estaciones transformadoras.

Un procedimiento de medición de corriente de alta tensión en conductores eléctricos, puede comprender:

proporcionar una fuente de luz, estando dicha fuente de luz una fuente de luz basada en LED, alternativamente una fuente de luz incandescente,
proporcionar un primer conducto óptico que es una primera fibra óptica, conduciendo dicho primer conducto óptico luz emitida desde dicha fuente de luz,
proporcionar un dispositivo óptico de medición de corriente óptico que comprende:

un alojamiento que define un primer extremo abierto y un segundo extremo abierto opuesto a dicho primer extremo abierto,
un primer medio de obturación que tiene una abertura, teniendo dicho primer medio de obturación una configuración geométrica global que corresponde a la configuración geométrica global de dicho primer extremo abierto de dicho alojamiento, comprendiendo, además, dicho primer medio de obturación una abertura adaptada para recibir dicha primera fibra óptica,
un primer medio de fijación para fijar dicha primera fibra óptica,
una primera lente óptica que tiene una parte de recepción adaptado para recibir dicho primer medio de fijación para montar dicha dicha primera fibra óptica en continuación óptica con dicha primera lente óptica, estando dicha primera lente óptica montada en dicho alojamiento,
un primer filtro de polarización montado en dicho alojamiento en continuación óptica con dicha primera lente óptica,
una barra de vidrio recibida en y encapsulada dentro de dicho alojamiento en continuación óptica con dicho primer filtro de polarización, estando dicha barra de vidrio construida a partir de un material que tiene propiedades magnetoópticas,
un segundo filtro de polarización montado en dicho alojamiento en continuación óptica con dicha barra de vidrio,
una segunda lente óptica montada en dicho alojamiento en continuación óptica con dicho segundo filtro de polarización, estando dicha segunda lente óptica adaptada para recibir un segundo medio de fijación,
un segundo medio de fijación para fijar una segunda fibra óptica, estando dichos segundos medios de fijación recibidos en dicha segunda lente óptica,
un segundo medio de obturación para obturar dicho segundo extremo de dicho alojamiento, teniendo dicho segundo medio de obturación una abertura para recibir una segunda fibra óptica, estando dichos segundos medios de obturación montados en dicho segundo extremo de dicho extremo de alojamiento, y
una primera y segunda tapa adaptadas para su fijación a dicho primer y segundo extremo, respectivamente, de dicho alojamiento, incluyendo dicha primera y segunda tapa una abertura para recibir dicha primera y segunda fibra óptica respectivamente,
dicho dispositivo óptico de medición de corriente eléctrica que recibe dicha luz desde dicho primer conducto óptico,
un segundo conducto óptico que es dicha segunda fibra óptica, recibiendo dicho segundo conducto óptico dicha luz emitida desde dicho dispositivo óptico de medición de corriente eléctrica,
proporcionar un medio de detección para detectar dicha luz emitida desde dicho segundo conducto óptico y convertir dicha luz recibida en una señal eléctrica,
proporcionar un medio de procesamiento para procesar dicha señal eléctrica desde dicho medio de detección,
proporcionar un sistema de medición de corriente para realizar mediciones de calibración para dicho sistema, y

proporcionar una primera comunicación significa.

5 Puede llevarse a cabo la calibración para eliminar degradaciones de señal, por ejemplo causadas por componentes gastados o dañados, y también puede compensar la interferencia de otras fuentes emisoras de campos magnéticos, tales como otros cables eléctricos.

Cuando el sensor se coloca sobre un cable eléctrico específico de una pluralidad de cables conductores eléctricos, el sistema puede llevar a cabo una calibración para eliminar la influencia de la parte restante de la pluralidad de cables conductores eléctricos.

10 La calibración se lleva a cabo cuando se instala el sistema inicialmente, y es capaz después de compensar la degradación del dispositivo o de componentes.

Tales procedimientos de calibración son conocidos, por ejemplo a partir de los documentos US 4 894 608 A. EP 0 410 234 A2, WO 96/12195 A1 o DE 198 42 487 C1.

La presente invención se refiere a un procedimiento de calibración de un sistema de medición de corriente de alta tensión en conductores eléctricos comprendiendo el procedimiento

15 proporcionar un conductor eléctrico que lleva corriente de alta tensión
proporciona una fuente de luz,
proporcionar un primer conducto óptico que define un primer y un segundo extremo opuestos, estando
dicha fuente de luz conectada a dicho primer extremo de dicho primer conducto óptico, emitiendo dicha
fuente de luz luz dentro de dicho primer conducto óptico,
20 proporcionar un dispositivo de medición de corriente de Faraday que define un primer y un segundo
extremo opuestos, estando dicho primer extremo de dicho dispositivo de medición de corriente de Faraday
conectado a dicho segundo extremo de dicho primer conducto óptico, recibiendo dicho dispositivo de
medición de corriente de Faraday dicha luz desde dicho primer conducto óptico,
25 proporcionar un segundo conducto óptico, que define un primer y segundo extremo opuestos, estando
dicho primer extremo conectado a dicho segundo extremo de dicho dispositivo de medición de corriente de
Faraday,
proporcionar un medio de detección óptica para convertir dicha luz en una señal eléctrica, estando dicho
medio de detección conectado a dicho segundo extremo de dicho segundo conducto óptico,
30 proporcionar un sistema de medición de corriente que realiza una medición de la corriente en dicho
conductor eléctrico,
realizar dicha medición de dicha corriente eléctrica en dicho conductor eléctrico, calculando dicho sistema
de medición de corriente de alta tensión en conductores eléctricos una constante de calibración
suprimiendo dicho sistema de medición de corriente.

35 Comprendiendo, además

dicho sistema para medir corriente de alta tensión en conductores eléctricos periódicamente,
alternativamente de manera aperiódica, recalculando dicha constante de calibración midiendo los
componentes de corriente alterna y corriente continua de dicha señal eléctrica.

40 Según un aspecto particular de la presente invención, el procedimiento comprende, además las etapas de
determinar inicialmente el componente de corriente continua de dicha señal óptica, a continuación determinar
periódicamente el componente de corriente continua de dicha señal óptica,

Determinar el componente efectivo de corriente alterna multiplicando el componente de corriente alterna medido por
el coeficiente de dicho componente de corriente continua determinado inicialmente y dicho componente de corriente
continua determinado periódicamente.

45 El procedimiento según la presente invención se aplica preferiblemente usando un dispositivo de medición de
corriente de Faraday tal como se ha descrito.

Ahora se describe adicionalmente la presente invención con referencia a los dibujos, en los cuales

la Fig. 1 es una vista esquemática en corte transversal de un sensor óptico Faraday de corriente,
la Fig. 2 es una vista esquemática en corte transversal ampliada de un sensor óptico Faraday de corriente,
50 la Fig. 3 ilustra un surco en el alojamiento de un sensor óptico Faraday de corriente,
la Fig. 4 es una vista esquemática de un extremo de un sensor óptico Faraday de corriente,
la Fig. 5 es una vista esquemática de un extremo de un sensor óptico Faraday de corriente,
la Fig. 6 es un diagrama esquemático de bloques de un sistema para medir una corriente eléctrica que
comprende un sensor óptico Faraday de corriente,
55 la Fig. 7 es una vista esquemática del sistema de detección que es parte del sistema ilustrado en la Fig. 6,

la Fig. 8 es una vista esquemática en corte transversal de una instalación de medición con tres conductores eléctricos y un sensor óptico Faraday de corriente,
 la Fig. 9 ilustra una instalación de medición con un conductor rectangular,
 la Fig. 10 ilustra una instalación de medición con un conductor circular,
 5 la Fig. 11 ilustra una instalación de medición con un conductor circular con una capa aislante,
 la Fig. 12 es un diagrama esquemático de bloques de una implementación prototipo del sistema de detección y la unidad de procesamiento del sistema ilustrado en la Fig. 6,
 las Figuras 13 a 18 son vistas esquemáticas de una versión prototipo de la presente invención,
 la Fig. 19 ilustra esquemáticamente los componentes del sensor,
 10 las Figuras 20 y 21 son ilustraciones esquemáticas de un alojamiento de sensor según la presente invención,
 la Fig. 22 es una ilustración esquemática de un sensor, cortado, según la presente invención,
 la Fig. 23 es una vista esquemática de dos tapas de sensor,
 la Fig. 24 es una vista esquemática de un filtro óptico,
 la Fig. 25 es una vista esquemática de un cable eléctrico, del campo B emitido desde el mismo y de una barra de vidrio,
 15 la Fig. 26 es una vista esquemática, cortada, de una fijación de fibras,
 la Fig. 27 es una vista esquemática de una abrazadera de hilos,
 la Fig. 28 es una vista esquemática de una pieza separadora,
 la Fig. 29 es un gráfico que ilustra la relación entre corriente y magnitud óptica,
 20 la Fig. 30 es un gráfico que ilustra el grado de linealidad de seis sensores, y
 la Fig. 31 es un gráfico que ilustra la relación entre la temperatura de un sensor y la magnitud óptica.

La Fig. 1 es una vista esquemática en corte transversal de un sensor óptico Faraday 10 de corriente y la Fig. 2 es una vista esquemática en corte transversal ampliada del sensor óptico Faraday 10 de corriente de la Fig. 1. El sensor óptico Faraday 10 de corriente comprende un alojamiento 12 oblongo que define un primer extremo y un
 25 segundo extremo opuesto, designados 14 y 16, respectivamente. En el primer extremo 14 del alojamiento 12 se monta un primer obturador 18, teniendo el primer obturador 18 una abertura para recibir una primera fibra óptica 20. En el alojamiento 12 hay montada una primera fijación 22 de fibras, teniendo la primera fijación 22 de fibras una abertura para recibir una fibra óptica 20, una lente óptica 24 dotada de una sección de recepción para recibir la fibra óptica 20, y la fijación 22 de fibras. Un primer filtro 26 de polarización está montado en continuidad óptica con la
 30 lente óptica 24. Una barra 28 de vidrio está en continuidad óptica con el primer filtro 26 de polarización. En el extremo opuesto de la barra 28 de vidrio hay montado un segundo filtro 30 de polarización en continuidad óptica con el mismo. Hay montada una segunda lente óptica 32 en continuidad óptica con el segundo filtro 30 de polarización, incluyendo la segunda lente óptica 32 una sección de recepción para recibir una segunda fijación 34 de fibras. Un segundo obturador 36 tiene una abertura para recibir una segunda fibra óptica 38.

35 Se insertan dos fibras ópticas 20, 38 a través de los obturadores primero y segundo 18, 36 en el interior de las fijaciones primera y segunda 22, 34 de las fibras, respectivamente. Las fibras ópticas 20, 38 están fijadas mecánicamente al alojamiento 12 por medio de dos tapas 40, 42 del sensor, respectivamente. Las tapas 40, 42 del sensor fijan las fibras 20, 38 y obturan el sensor óptico Faraday 10 de corriente.

40 El material usado para moldear las tapas 56, 58 del sensor es, preferentemente, un material plástico capaz de soportar intervalos de temperaturas de -40 a 150°C y que tenga una propiedad de aislante eléctrico. Preferentemente, el material es no permeable a la luz en el intervalo de 400 a 1000 nm. Los materiales con las propiedades mencionadas anteriormente pueden ser materiales plásticos tales como Ultem o peek.

El alojamiento 12 puede comprender, además, un conjunto de alas 44 para el montaje del sensor óptico Faraday 10 de corriente en un conductor eléctrico mediante bandas plásticas u otros medios de sujeción.

45 La Fig. 3 es una vista lateral esquemática de un sensor óptico Faraday 10 de corriente que ilustra un surco 46 en el alojamiento 12 que se extiende paralelo a la barra 28 de vidrio. El surco 46 puede tener una pared plana de fondo o, alternativamente, una pared redondeada de fondo para mejorar la fijación del sensor óptico Faraday 10 de corriente a un conductor eléctrico. El surco 46 está incorporado en el alojamiento para acercar la barra 28 de vidrio lo máximo posible y que tenga la ventaja adicional de fijar el sensor óptico Faraday 10 de corriente con un ángulo de 90 grados
 50 con respecto al conductor eléctrico. La anchura del surco 46 puede ser arbitraria, pero, preferentemente, tiene la misma longitud o menor que la longitud de la barra 28 de vidrio. Las alas 44 de fijación pueden estar incorporadas en una expansión geométrica del surco 46.

La Fig. 4 es una vista esquemática de un extremo 14 del sensor óptico Faraday 10 de corriente. La figura ilustra el primer filtro 26 de polarización montado en el alojamiento 12.

55 La Fig. 5 es una vista esquemática del extremo opuesto del sensor óptico Faraday 10 de corriente ilustrado en la Fig. 4. La figura ilustra, además, el segundo filtro 30 de polarización montado en el alojamiento 12 girado 45° con respecto al primer filtro 26 de polarización. La configuración geométrica de los filtros de polarización se ilustra como un cuadrado o, alternativamente, los filtros pueden tener cualquier configuración geométrica, con la condición de que los planos de polarización de los dos filtros de polarización estén girados 45°, respectivamente.

Se construyó una versión prototipo del sensor óptico Faraday 10 de corriente que tenía las siguientes dimensiones mecánicas. La longitud total del alojamiento 12 es de 65 mm y el diámetro 12,6 mm. La abertura para recibir la fibra es de 7,5 mm. Las alas 44 tienen un tamaño total de 11,6 mm × 40 mm de extremo a extremo. El surco tiene una longitud de 45 mm. La barra de vidrio tiene una longitud de 35 mm y un diámetro de 4 mm. Los filtros de polarización son cuadrados, siendo cada lado de 5,3 mm.

La Fig. 6 es una vista esquemática de un sistema para medir la corriente eléctrica en un conductor utilizando el efecto Faraday en un transductor magneto-óptico. El sistema comprende una fuente lumínica 46. La fuente de luz puede ser una bombilla o una fuente lumínica a base de LED. La luz emitida desde la fuente lumínica 46 es guiada por medio de un primer conductor óptico 48, tal como una fibra óptica. El conductor óptico 48 está conectado a un sensor óptico Faraday 10 de corriente que comprende dos filtros 26, 30 de polarización y un material magneto-óptico. Los filtros 26, 30 de polarización están girados 45°, respectivamente. El sensor óptico Faraday 10 de corriente está montado sobre un conductor eléctrico 50 por el que fluye alta tensión, tal como 10 kV. El extremo de salida del sensor óptico Faraday 10 de corriente está conectado con un segundo conductor óptico 18, tal como una fibra óptica. El segundo conductor óptico 18 está conectado a un sistema 54 de detección que convierte la señal óptica analógica en una señal digital. Se proporciona la señal digital procedente del sistema 54 de detección a una unidad 56 de procesamiento de señales, que lleva a cabo varios cálculos con los datos. Hay montado un dispositivo 58 de medición sobre el conductor eléctrico 50 con fines de calibración. El dispositivo 58 de medición está conectado a un sistema 60 de medición de corriente proporcionando datos adicionales a la unidad 56 de procesamiento de señales.

La unidad 56 de procesamiento de señales compara, almacena y efectúa cálculos con los datos procedentes del sistema 54 de detección y los datos procedentes del sistema 60 de medición de corriente.

La calibración del sistema requiere que la unidad 56 de procesamiento de señales compare datos procedentes del sistema 54 de detección y del sistema 60 de medición de corriente; después, la unidad de procesamiento de señales guarda estos datos. Al final de la calibración, se suman los datos de calibración guardados procedentes de cada uno de los dispositivos. Los datos sumados procedentes del sistema 60 de medición de corriente se dividen por los datos sumados procedentes del sistema 54 de detección. Se usa el resultado de esta división como un valor de calibración, y se guarda el valor de calibración en la unidad 56 de procesamiento de señales. El sistema 60 de medición de corriente y el dispositivo 58 de medición pueden ser desmontados de la instalación.

La instalación ilustrada en la Fig. 6, que tiene una fuente lumínica 46 y un sensor óptico Faraday 10 de corriente y un sistema 54 de detección óptica, es sensible al ruido eléctrico en la fuente lumínica 46, al ruido óptico en la unidad 54 de detección y a la interferencia de campos magnéticos de inductores y sistemas cercanos. El montaje y la instalación del sensor 10, así como la forma y el diámetro del conductor que ha de medirse, tienen influencia en las mediciones llevadas a cabo por el sistema. El sistema puede ser usado en varios emplazamientos alrededor del mundo en los que ocurren a menudo variaciones de temperatura. La temperatura puede afectar a la operación de la fuente lumínica 46 y al circuito detector del sistema 54 de detección. Además, la fuente lumínica 46 y el sistema 54 de detección, así como otros componentes del sistema, pueden sufrir degradación durante la operación y en la vida útil del producto. Una medición precisa depende de contar con una fuente lumínica estable y de la determinación de los factores de compensación para el sistema implementado, así como del registro de los cambios en la salida de la fuente lumínica, variaciones a largo plazo del sistema de detección y variación de temperatura del entorno circundante.

La Fig. 7 es una vista esquemática del sistema 54 de detección del sistema de medición de corriente. El sistema de detección comprende un componente fotosensible 64 que convierte la luz recibida por el sistema 54 de detección procedente del conducto lumínico 18. El componente fotosensible 64 convierte la luz en una señal eléctrica. La señal eléctrica comprende componentes de CA y CC; la señal es dividida en dos y proporcionada a dos amplificadores 66, 68, y la señal amplificada del amplificador 66 es suministrada a un separador 70 de CC que separa las componentes de CC de la señal amplificada. La señal amplificada del amplificador 68 es suministrada a un separador 72 de CA que separa la componente de CA de la señal amplificada. La unidad 74 de procesamiento de señales analógicas convierte la señal separada de CC y la señal separada de CA de señales analógicas a señales digitales. Se compara la señal de CC con un valor almacenado de señal de CC medido durante la calibración del sistema. Se multiplica el cambio porcentual de la componente calibrada de CC por la componente de CA. La señal procedente de un sensor óptico de efecto Faraday comprende componentes de CC y CA. La componente de CA surge cuando se aplica al sensor óptico Faraday 10 de corriente un campo magnético que varía con el tiempo. La componente de CC surge si se aplica una CC o un campo no magnético al sensor óptico Faraday 10 de corriente, si la señal de CA incluye una componente de CC, variaciones a largo plazo del sistema de detección y variaciones en la temperatura del entorno.

La Fig. 8 es una vista esquemática en corte transversal de una instalación con tres conductores eléctricos 76, 78, 80, cada uno de los cuales es un conductor de alta tensión. Los círculos concéntricos que rodean a cada uno de los conductores representan el campo electromagnético irradiado del mismo, lo que ilustra que las mediciones sobre los campos electromagnéticos emitidos desde un conductor 78 por un sensor 10 pueden estar influidas por campos irradiados desde otros conductores eléctricos 76, 80. Se lleva a cabo el procedimiento de calibración para eliminar la

interferencia de conductores vecinos y otros campos electromagnéticos en las inmediaciones que influyen en el sensor 10. Estos otros campos magnéticos pueden originarse del equipo eléctrico dentro de una estación transformadora en la que está montado el sensor, o de que campos irradiados desde el conductor eléctrico sobre el que se monta el sensor se reflejen desde el interior de la estación transformadora o, alternativamente, que se reflejen campos electromagnéticos emitidos desde conductores eléctricos vecinos.

La Fig. 9 ilustra una instalación con un sensor óptico Faraday 10 de corriente montado sobre un conductor rectangular 82.

La Fig. 10 ilustra un sensor óptico Faraday 10 de corriente montado directamente en un conductor circular 84.

La Fig. 11 es una vista esquemática en corte transversal de un sensor óptico Faraday 10 de corriente montado sobre un conductor circular 86 dotado de un núcleo conductor 88 y una capa aislante 90 dispuesta rodeando el perímetro del núcleo eléctricamente conductor 88. El sensor óptico Faraday 10 de corriente es un sensor de medición de puntos, y la forma del campo B y la distancia desde el inductor son parámetros que deben considerarse. La calibración *in situ* del sistema sensor compensa las variaciones de forma del campo B y la distancia desde el inductor, así como los campos electromagnéticos estáticos presentes que se originan en otras fuentes.

La amplitud de la componente de CC cuando no se aplica ningún campo magnético al sensor óptico Faraday 10 de corriente depende de la intensidad de la luz emitida desde la fuente lumínica, de la resistencia a través del sistema óptico y del circuito detector. Las componentes de CA y CC de la señal tienen una correlación lineal en la que no se aplica ningún campo magnético de CC al sensor óptico de efecto Faraday.

La Fig. 12 es un diagrama esquemático de bloques de una implementación prototipo del sistema 20 de detección y de la unidad 22 de procesamiento de señales de la Fig. 6. El módulo 100 incluye las entradas 92 del sensor que introducen la señal del sensor óptico Faraday 10 de corriente al sistema 20 de detección ilustrado con detalle en la Fig. 7. Se usa un número de acopladores ópticos correspondiente al número de líneas descendentes de baja tensión para determinar la tensión en las líneas descendentes de tensión, estando estas tensiones en el intervalo de 400 voltios de CA. El módulo incluye, además, un puerto 96 de entrada-salida de interfaz de usuario en la implementación prototipo, siendo la entrada-salida 96 de la versión prototipo un puerto RS-232 de comunicaciones en serie. El puerto 96 de entrada-salida está conectado a un módulo 106 de interfaz de usuario, usado en la instalación y la calibración inicial del sistema.

Los datos del sistema 20 de detección y el módulo 98 de 400 voltios de CA son enviados a una unidad 104 de procesamiento de señales y datos, que lleva a cabo una comparación de fase para determinar el ángulo de fase entre la corriente y la tensión. En una implementación prototipo del sistema de medición, la unidad de procesamiento de señales y datos se implementó como una aplicación embebida de procesador dual. La funcionalidad del sistema se divide en una parte de medición y una parte de comunicaciones. La parte de medición gestiona el barrido de 6 canales de corriente, el barrido de 3 canales de tensión y los cálculos con los datos recogidos.

El módulo comprende, además, un módulo 106 de comunicación para comunicar los datos recogidos por la unidad de procesamiento de la unidad procesadora 104. Dado que el sistema puede ser instalado en un emplazamiento remoto y ser usado para la vigilancia automática de la operación de una estación transformadora, el sistema puede estar conectado a un sitio central de recogida de datos que recoge datos de varias estaciones transformadoras para la operación segura de una red de distribución eléctrica. El módulo 106 de comunicaciones puede estar constituido por un módulo adaptado para convertir los datos procedentes de la unidad 104 de procesamiento de datos en protocolos de comunicaciones, tales como GSM y/o RDSI o, alternativamente, en un protocolo de comunicaciones de datos, tal como TCP/IP. El módulo incluye, además, una unidad transmisora 108 que, en el caso de que el módulo de comunicaciones sea un módulo GSM, es una antena o, alternativamente, un puerto de red de área local o similar. El módulo 100 incluye, además, una fuente 110 de alimentación que suministra energía eléctrica al módulo. Se aplica la energía a una unidad 112 de gestión de la energía que divide la energía como energía de sistema y para cargar un módulo 114 de batería para la operación segura del módulo 100 en caso de una interrupción del suministro eléctrico.

En la implementación prototipo del módulo 100, se describe con detalle a continuación, en varias tablas, el protocolo para la comunicación del estado de la estación transformadora.

Las Figuras 13 a 18 son diagramas esquemáticos de bloques de una versión prototipo de la presente invención. Todos los componentes son descritos por nombre y número de producto en las ilustraciones, y se considera que son autoexplicativos cuando se tienen en cuenta las descripciones anteriores.

La Fig. 13 es un diagrama esquemático de bloques de una versión prototipo de una SS de 10 kV según la presente invención.

La Fig. 14A es un diagrama esquemático de bloques de un sensor de corriente de CC. En la versión prototipo el sensor de CC tiene 6 canales, suministrándose a cada canal una señal desde un circuito sensor ilustrado con detalle en la Fig. 14B.

La Fig. 15A es un diagrama esquemático de bloques de un sensor de corriente. En la versión prototipo el sensor tiene 6 canales, suministrándose a cada canal una señal desde un circuito sensor ilustrado con detalle en la Fig. 15B.

La Fig. 16 es un diagrama esquemático de bloques de un circuito sensor de la tensión.

5 La Fig. 17A es un diagrama esquemático de bloques que ilustra un circuito de gestión de la potencia.

La Fig. 17B es un diagrama esquemático de bloques que ilustra un circuito de gestión de la potencia que coopera con el circuito de gestión de la potencia ilustrado en la Fig. 17A.

La Fig. 18 es un diagrama esquemático de un puerto de comunicaciones RS-232 y de las señales relativas al mismo.

10 A continuación se trata sobre otro ejemplo. Las partes que reaparecen en esta realización y que fueron expuestas en relación con los dibujos 1 a 18 tendrán números de referencia similares.

La Fig. 19 es una ilustración similar a la de las Figuras 1, 2 y 3.

15 Las Figuras 20 y 21 ilustran una segunda realización de un sensor 10' según la presente invención. El alojamiento 12' del sensor es el principal elemento del sensor 10'. Gestiona el montaje en el cable y la fijación de los elementos ópticos. El alojamiento 12' está diseñado para que sea válido para soldadura. El plástico está diseñado para soportar temperaturas entre y -40°C y 250°C y para que tenga un efecto aislante de la electricidad y el calor. El sensor 10', en la realización actualmente preferente, está fabricado de PEEK sin refuerzo de vidrio. Las calidades del PEEK ofrecen una resistencia a los compuestos químicos y a la hidrólisis similar a la del PPS, pero puede operar a temperaturas mayores. El PEEK no reforzado moldeado por compresión ofrece un grado elevado de resistencia al desgaste.

20 El PEEK puede usarse continuamente hasta 250°C , y en agua caliente o vapor, sin pérdida permanente de propiedades físicas. El PEEK lleva una tasa de inflamabilidad V-O y presenta una emisión muy baja de humo y gas tóxico cuando se expone a las llamas.

25 El ala 44' del sensor se usa para montar el dispositivo sobre un cable eléctrico. Está formada para que puedan usarse bandas de hasta 5 mm para sujetar el dispositivo a un cable. Preferentemente, las bandas están fabricadas de teflón para que puedan soportar amplios intervalos de temperatura e influencias ambientales adversas. El ala 44' del sensor está integrada en el alojamiento 12' del sensor y está diseñada para el moldeo.

30 En la superficie del sensor 10' que está orientada hacia el cable, el sensor 10' tiene una zona 46' cuyo diámetro es menor en comparación con el resto del sensor 10'. Esta zona 46' permite un emplazamiento del rotor de Faraday cercano al cable y fija el sensor 10' 90° grados con respecto al cable.

Una distancia pequeña entre el conductor y el sensor 10' es importante porque la intensidad del campo magnético disminuye en aproximadamente uno dividido por la distancia desde el cable.

El fotorrotor Faraday 28' está montado en el alojamiento 12'. La tolerancia se mantiene estrecha al efecto. La barra 28' de vidrio se monta con un ligero encaje a presión.

35 Los filtros Polaroid 26' y 30' están montados en el alojamiento 12' en continuidad óptica con la barra 28' de vidrio. Los filtros 26' y 30' están girados 45° entre sí. Esto se hace para obtener el mayor ancho de banda de la señal.

40 Se intentó pegar con adhesivo los filtros 26' y 30' sobre la barra 28' de vidrio; esto debería ganar un 4-5% más de luz a través de la matriz óptica. Sin embargo, debido a los diferentes gradientes de temperatura en el vidrio, el adhesivo y los filtros, los filtros se caían en las pruebas de fatiga. Además era menos rentable para la producción. En la realización actualmente preferente, se ha diseñado una pequeña disminución en el alojamiento 12' del sensor para fijar los filtros Polaroid 26' y 30'. Los filtros 26' y 30' pueden moverse según los cambios de temperatura y seguir teniendo una construcción óptica razonable. Los filtros 26' y 30' están fijados en el cuadrado y la lente.

45 Se usa el filtro Polaroid para ver el ángulo de giro de la luz. El filtro Polaroid está fabricado de plásticos y tiene solo 0,2 mm de grosor. El filtro Polaroid es de un material tal que mantiene su resistencia en un intervalo de temperaturas de -40°C - 80°C . El filtro está polarizado linealmente y realizado en producción mediante un instrumento de punción. El filtro puede ser aplicado directamente mediante vapor sobre la barra de vidrio.

Las lentes 24' y 32' se montan en el alojamiento 12' en continuidad óptica con los filtros 26' y 30', respectivamente. Las lentes 24' y 32' sostienen los filtros Polaroid 26' y 30' en los cuadrados. Las lentes 24', 32' se montan con un ligero encaje a presión y, por lo tanto, se fijan en la matriz óptica.

La fibra óptica se coloca en la fijación 128 de la fibra, ilustrada en la Fig. 26. Cuando la fijación de fibra se encaja en el sistema de lentes ópticas, el extremo de las fibras se sitúa en el punto focal. Cuando la fijación de la fibra se sitúa en la lente óptica, se estrecha alrededor de la fibra, ocupándose de la tensión mecánica.

5 Los obturadores 18' y 36' de silicona se colocan en extremos opuestos del alojamiento 12'. Los tapones obturadores 18' y 36' se usan para obturar el sensor 10', protegiéndolo con ello de polvo, vapor, agua y otras influencias que causan su deterioro. El obturador también funciona como un estrechamiento de las fibras ópticas, no ilustradas aquí.

10 La función del obturador es asegurar la parte óptica del sensor 10', fundamentalmente contra el agua y el polvo. Cuando se presiona la tapa sobre el alojamiento 12' del sensor, el obturador es presionado contra la fibra para gestionar la tensión mecánica. El obturador está diseñado para mantener su resistencia en un intervalo de temperaturas de -40°C - 120°C. Tiene una buena resistencia a los productos químicos y al ozono.

En las Figuras 19 y 23 se ilustra dos tapas 40' y 42' del sensor. Las tapas 40' y 42' del sensor pueden ser fijadas al alojamiento 12'. Las tapas del sensor son encajadas fácilmente sobre el alojamiento 12'.

Cada una de las tapas del sensor se usa para la fijación de la fibra y la obturación del sensor 10'. Las tapas 40', 42' están construidas y diseñadas para que sean válidas para la soldadura plástica.

15 En la actualidad, las tapas se fabrican de PEEK sin refuerzo de vidrio, que es, preferentemente, el mismo material que el alojamiento 12'. Las tapas 40', 42' del sensor están diseñadas con un cono, lo que permite una fijación con el alojamiento del sensor una única vez.

20 La tapa del sensor tiene un fondo redondo y corto, de modo que, cuando esté montada en el alojamiento 12' del sensor con el obturador, apriete el obturador en torno a la fibra y cierre el sensor 10' para que esté protegido de la suciedad y otros contaminantes.

La fibra óptica transporta la luz desde el emisor de luz hasta el sensor 10' y desde el sensor 10' a un fotodetector.

25 En la realización actualmente preferente de la presente invención, la fibra óptica es una fibra bidireccional con refuerzo de Kevlar para el alivio de tensiones. La fibra óptica transmite luz roja visible en la región de 400 - 700 nm. Su núcleo tiene un diámetro de 1 mm y tiene un diámetro total de 2,2 mm. El intervalo de temperaturas operativas esté entre -25 grados Celsius y +100 grados Celsius continuamente y hasta 120 grados Celsius poco tiempo. El corte y el pulido de los extremos de la fibra son importantes para el sistema. La fibra se pule según un estándar de 9 micrómetros (μm) en 3 tandas de pulido. Este tamaño de grano de pulido es el óptimo según el precio y la atenuación óptica. En el extremo de la fibra del alojamiento 12' del sensor, se obtura la fibra con silicona para que no pueda entrar humedad alguna en la fibra y que no pueda producirse dentro de la fibra un tramo de histéresis viscosa.

30 La función de la barra de vidrio es la de fotorrotor, y es el "motor" del sensor 10'. Está construida de un material BK7 con una constante de Verdet reducida de 0,00000000383 grados/T-m por longitud de onda de 620 nm. Se pule en los extremos según S:D: 40:60 y el material es aliviado de tensiones en producción después de su moldeo. Se ha seleccionado el material debido a un cambio reducido de la constante de Verdet con respecto a la temperatura, constantes de Verdet reducidas pero aceptables para la señal y bajo costo.

Se ha seleccionado la anchura de la barra de vidrio a partir de la anchura óptima de la lente. El ángulo entre el campo magnético y el haz de luz puede describirse como una función coseno. Si el campo magnético va 90 grados por delante de la luz, no ocurre ningún efecto de rotación. La longitud de la barra de vidrio es lineal con la salida de la señal. En la Fig. 25 se ilustra el campo B 120 en un conductor redondo 122.

40 El efecto de rotación del campo disminuye debido a un ángulo mayor entre la luz y el campo magnético. La atenuación de la luz en el sistema es también crucial para una buena señal. Cuando la luz es doblada por la lente, no es perfectamente lineal con respecto a la dirección óptima; por lo tanto, cuanto más larga es la barra de vidrio, menos luz la atraviesa. Se ha decidido la longitud de la barra de vidrio a partir de pruebas para establecer un valor óptimo entre el efecto del campo magnético y la atenuación de la luz.

45 En la Fig. 27 se ilustra una abrazadera 124 separadora de la fibra. La función de la abrazadera 124 separadora de la fibra es fijar la fibra a una distancia del cable. La abrazadera 124 está diseñada para apretar y sujetar la fibra, y para fijar la fibra al cable con la banda Panduit de teflón.

50 Se necesita la distancia entre la fibra y el cable por razones de aislamiento térmico y eléctrico. La fibra óptica, tal como es hoy, solo es capaz de soportar temperaturas pico de aproximadamente 120 grados. Dado que el cable eléctrico puede alcanzar temperaturas de hasta 250 grados, debe haber una distancia aislante térmica. La fibra también se separa del cable para evitar un puente de humedad y un posible tramo de histéresis viscosa. La abrazadera 124 separadora de la fibra se moldea en PEEK, el mismo material que se usa para el alojamiento 12' del sensor.

En la Fig. 28 se ilustra una abrazadera del sensor. La abrazadera 126 crea una mayor resistencia térmica entre el cable y el señor 10'. Por eso, si el sensor 10' se monta directamente en un hilo, la abrazadera 126 se encaja a presión sobre el ala 44' del sensor. Esta abrazadera 126 hace posible, con una temperatura del cable de 300 grados, que dentro del sensor 10' no se esté por encima de 120 grados.

- 5 Las Figuras 29 y 30 ilustran resultados de ensayos obtenidos durante ensayos que implicaban seis sensores según la presente invención. Los gráficos muestran que los sensores presentan propiedades lineales en función de la corriente en un conductor eléctrico.

La Fig. 30 ilustra el grado de linealidad de los seis sensores.

- 10 La Fig. 31 es un gráfico que ilustra la señal de salida de un sensor en función de la temperatura en el entorno circundante y el sensor.

Antecedentes teóricos de la invención

- 15 Cuando se monta un sensor simple de fibras ópticas de efecto Faraday sobre un conductor, por ejemplo en una estación transformadora o sobre un cable de instalación, la señal óptica de salida es sensible a la interferencia procedente de campos magnéticos de sistemas cercanos, a la forma del conductor, a la ubicación del sensor y a la distancia al conductor. La señal óptica de salida es también sensible al montaje y la instalación del sistema.

El objeto de la presente invención es lograr un dispositivo preciso para medir una corriente eléctrica mediante el efecto Faraday, compensando *in situ* la interferencia procedente de campos magnéticos de inductores cercanos, la forma del conductor, la distancia desde el dispositivo de medición y el conductor y también el montaje y la instalación.

- 20 Este objeto se logra comparando los datos medidos por el sistema de fibras ópticas con un sistema de terceros de medición de corriente durante la instalación del sistema *in situ*.

El campo B medido por el sistema de fibras ópticas se denomina B_{medido} . La corriente real se determina según la ecuación:

$$I_{real} = K_{Calib} * B_{medido} [A]$$

$$siendo K_{Calib} = \sum_0^n (I_{medida\ en\ sistema\ de\ un\ tercero}) / \sum_0^n (B_{medido\ en\ sistema\ óptico})$$

- 25 Este procedimiento de calibración tiene en cuenta la interferencia de los campos magnéticos lineales de inductores cercanos y el factor de conversión entre el campo B y la corriente. También tiene en cuenta las tolerancias de producción, la forma del conductor, el diámetro del conductor y el ruido de fondo, todo ello cuando está montado en la aplicación activa.

Después de la calibración, se retira el sistema de terceros y el sistema de fibras ópticas de medición de corriente es un sistema autónomo de medición.

- 30 Además del uso del sensor en sí, es crucial que se calibre *in situ*. Se usa un dispositivo de terceros de medición para medir la corriente eléctrica. Este dispositivo puede ser una bobina de corriente u otro dispositivo de medición de la corriente que esté calibrado y para el cual pueda ignorarse el campo circundante. La señal o los datos procedentes del dispositivo de terceros de medición de corriente se calculan en un sistema de terceros de medición y son enviados a la unidad de procesamiento de señales.

- 35 La unidad de procesamiento de señales compara los datos procedentes de los dos dispositivos y guarda los datos. Después de cierto periodo, se detiene la calibración y se suman los datos de cada dispositivo. Los datos sumados del sistema de terceros de medición de corriente se dividen por los datos sumados procedentes del sensor óptico. Este valor se usa como valor de calibración y se guarda en la unidad de procesamiento de señales. El sistema y el dispositivo de terceros de medición pueden ser desmontados. El sistema óptico tiene ahora un valor de calibración preciso para la aplicación sobre la que está montado.
- 40

En una instalación con 3 conductores, el campo magnético procedente de conductores cercanos puede afectar a la medición. Se monta un sensor de fibras ópticas de efecto Faraday sobre un inductor. Los campos magnéticos de los 3 conductores afectan al sensor. El campo B medido por un sensor x es:

$$B_{sum_sensor_x} = B_{L1} + B_{L2} + B_{L3}$$

Durante la calibración, se compara $B_{sum_sensor_x}$ con los datos procedentes del dispositivo de terceros de medición. A partir de esta calibración se determina la constante de calibración K_{Calib} . Esta constante contiene la aportación de las 3 fases, lo que significa que la constante solo es válida para un campo B lineal.

5 El campo B es relativamente conocido para un conductor circular, pero el campo B no es conocido para un conductor rectangular. El sensor de fibras ópticas de efecto Faraday crea solo una medición de puntos; esto significa que la forma del campo B y la distancia desde el inductor son parámetros cruciales. Las calibraciones *in situ* del sensor compensan la forma diferente del campo B y la distancia desde el inductor.

10 La señal desde un sensor óptico de efecto Faraday de corriente consiste en componentes de CA y CC. La componente de CA existe cuando se aplica al sensor un campo magnético que varían en el tiempo. La componente de CC existe si se aplica al sensor un campo no magnético.

El objeto de de la presente invención es lograr un dispositivo preciso para medir una corriente eléctrica en un sistema de CA, mediante el efecto Faraday, midiendo eléctricamente las componentes de CA y CC, para compensar, mediante soporte lógico, la degradación de la óptica del sistema con el paso del tiempo. Esta compensación está incluida en la compensación descrita anteriormente.

15 El tamaño de la componente de CC, cuando no se aplica campo magnético alguno al sensor, depende de la salida de la luz expuesta desde la fuente lumínica, de la "resistencia a la luz" en todo el sistema óptico y del circuito detector. Hay coherencia lineal entre las componentes de CA y CC de la señal, suponiendo que no haya ningún campo magnético de CC aplicado al sensor, ninguna variación a largo plazo del sistema de detección y ninguna variación en la temperatura del entorno circundante.

20 Se determina la señal óptica compensada, U_{ca_real} , mediante:

$$U_{ca_real} = \left(U_{cc_calib} / U_{cc_real} \right) U_{ca_medida}$$

siendo:

25 U_{ca_real} la señal óptica de CA compensada,
 U_{cc_real} la componente medida de CC real,
 U_{cc_calib} la señal de CC medida cuando se calibró el sistema,
 U_{ca_medida} la señal óptica medida de CA real.

La ecuación anterior muestra cómo compensar los cambios en la componente de CC debidos a cambios ópticos, temperatura, cambio de rendimiento de la fuente lumínica, cambio de rendimiento del detector, cambio de resistencia óptica en el sensor debido al tiempo en funcionamiento.

Lo siguiente es una descripción de una versión prototipo de la presente invención.

30 En una versión prototipo de la presente invención, un sistema que mide la corriente real que entra y sale de la estación transformadora más la tensión de 400 V informa de los valores medidos mediante mensajes SMS a través de un módem GSM.

35 Los valores medidos podrían ser: corriente real (promediada en el último segundo) para todos los canales, corriente pico con dirección y sello de tiempo para todos los canales, estado de 400 V con sello de tiempo para la última desactivación, condición del sistema.

Los valores se envían a un técnico de servicio o, alternativamente, a un servidor, bajo petición y cuando se superan los límites de alarma.

40 Pueden implementarse cálculos más o menos complejos, así como tasas de muestreo. Pueden variar el número de canales de corriente, etc. Los bloques constitutivos básicos son el cálculo de la corriente, la calibración y la corrección según la señal de CC.

Una versión prototipo de la presente invención incluye un sistema procesador con soporte lógico o soporte lógico inalterable embebidos. La principal tarea para el soporte lógico inalterable del sistema puede dividirse en varias tareas: medición y linealización del flujo de corriente, cálculo de la dirección de la corriente, corrección según la señal de CC y comunicación con el servidor o con el personal de servicio.

45 En la versión prototipo de la presente invención se suministran seis canales de corriente y tres canales de tensión al sistema procesador, que comprende el soporte lógico inalterable, a través de un acoplador óptico y un convertidor AD. Se usa la fase entre la corriente y la tensión para determinar la dirección de la corriente.

Cada canal de corriente del sistema se construye principalmente de una parte de amplificador y filtro seguida por un convertidor AD. Cuando la señal ha pasado el convertidor AD, el soporte lógico inalterable lleva a cabo todo el postprocesamiento de la señal.

- 5 Cada canal de corriente se divide en dos señales: la señal de corriente de CA y la componente de CC, suministrándose ambas a través del convertidor AD. La señal óptica de corriente (U_{CA}) se usa para calcular la corriente real. La componente de CC de la señal óptica de corriente se usa para calcular el factor de degeneración.

La señal de CC (U_{CC}) procedente del sensor óptico, combinada con la componente de CC, se usa para calcular el factor de degeneración y, a partir de él, la constante de calibración real (K_{Calib}).

$$U_{RMS} = \sum |U_{CA} - V_{REF}|$$

$$I_{RMS} = K_{Calib} \times U_{RMS}$$

- 10 Se elimina la componente de CC de la señal y se calcula el valor RMS como la integral del valor numérico. El valor se multiplica por la constante de calibración (K_{Calib}) y el resultado es la corriente que fluye en el canal real.

El cálculo se realiza para cada periodo de 50 Hz. El postprocesamiento del resultado es realizado por la parte de comunicaciones del sistema.

La detección o la determinación de la dirección de la corriente se realiza midiendo el ángulo de fase entre la corriente y la tensión para el canal real.

- 15 El ángulo de fase depende del tipo de carga y de la dirección de la corriente. El tipo de carga para la estación transformadora real se escoge durante la calibración. Si, durante una carga inductiva, la diferencia de fase está entre -90° y $+90^\circ$, la dirección de la corriente es positiva.

La fase de la corriente se colige de los sensores ópticos sobre la línea de 10 kV. La fase de la tensión se capta de la línea de 400 V, debido al hecho de que la tensión de 10kV no se monitoriza.

- 20 La fase de tensión se retrasa por la transformación de 10 kV a 400 V. Por lo tanto, la fase se modifica con 30° multiplicado por el factor del transformador.

El soporte lógico inalterable del sistema compensa la degeneración del sistema buscando en la componente de CC de la señal. Esto se realiza a través de la corrección de la constante de calibración inicial con el factor de degeneración.

$$U_{CA,CC} = \sum U_{CA} - V_{REF}$$

- 25 $U_{CC,MED} = (\sum U_{CC}) / n$, sumándose U_{CC} desde 0 a n muestras.

$$K_{Calib} = (K_{Calib,Init} \times U_{CC,Init}) / (U_{CC} - U_{CA,CC})$$

La componente de CC del valor de CA medido se resta de la señal de CC medida para eliminar la componente de CC de la corriente que fluye en el inductor.

Tanto U_{CC} como U_{CA} son objeto de muestreo en un periodo largo (por ejemplo, un minuto).

- 30 Además de usar la constante de calibración calculado la corriente real, también se usa como indicación de la condición total del sistema. La monitorización de esto se realiza en la parte de comunicaciones.

Después del cálculo de las corrientes reales y de las direcciones, el sistema de medición se ocupa de los cálculos específicos del sistema. Estos variarán de una implementación a otra.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de calibración de un sistema para medir corriente de alta tensión en conductores eléctricos, comprendiendo dicho procedimiento:

5 proporcionar un conductor eléctrico (50) que lleva corriente de alta tensión,
proporciona una fuente de luz (46),
proporcionar un primer conducto óptico (48) que define un primer y un segundo extremo opuestos, estando dicha fuente de luz (46) conectada a dicho primer extremo de dicho primer conducto óptico (48), emitiendo dicha fuente de luz (46) luz dentro de dicho primer conducto óptico (48),
10 proporcionar un dispositivo de medición de corriente de Faraday (10) que define un primer y un segundo extremo opuestos, estando dicho primer extremo de dicho dispositivo de medición de corriente de Faraday (10) conectado a dicho segundo extremo de dicho primer conducto óptico (48), recibiendo dicho dispositivo de medición de corriente de Faraday (10) dicha luz desde dicho primer conducto óptico (48),
proporcionar un segundo conducto óptico (52), que define un primer y segundo extremo opuestos, estando dicho primer extremo conectado a dicho segundo extremo de dicho dispositivo de medición de corriente de Faraday (10),
15 proporcionar un medio de detección óptica (54) para convertir dicha luz en una señal eléctrica, estando dicho medio de detección (54) conectado a dicho segundo extremo de dicho segundo conducto óptico (52),
proporcionar un sistema de medición de corriente (58) que realiza una medición de la corriente en dicho conductor eléctrico (50),
20 realizar dicha medición de dicha corriente eléctrica en dicho conductor eléctrico (50), calculando dicho sistema de medición de corriente de alta tensión en conductores eléctricos una constante de calibración, suprimiendo dicho sistema de medición de corriente (58),

caracterizado porque dicho procedimiento comprende, además:

25 dicho sistema para medir corriente de alta tensión en conductores eléctricos periódicamente, alternativamente de manera aperiódica, recalculando dicha constante de calibración que implica la medición de los componentes de corriente alterna y corriente continua de dicha señal eléctrica.

- 30 2. Un procedimiento según la reivindicación 1, comprendiendo, además, dicho procedimiento las etapas de determinar inicialmente el componente de corriente continua de dicha señal óptica, a continuación determinar periódicamente el componente de corriente continua de dicha señal óptica, determinar el componente efectivo de corriente alterna multiplicando el componente de corriente alterna medido por el coeficiente de dicho componente de corriente continua determinado inicialmente y dicho componente de corriente continua determinado periódicamente.

- 35 3. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que dicho dispositivo (10) de medición de corriente de Faraday comprende:

un alojamiento (12) que define un primer extremo abierto (14) y un segundo extremo abierto (16) frente a dicho primer extremo abierto (14),
40 un primer medio (18) de obturación dotado de una abertura, teniendo dicho primer medio (18) de obturación una configuración geométrica global correspondiente a la configuración geométrica global de dicho primer extremo abierto (14) de dicho alojamiento (12), comprendiendo además dicho primer medio (18) de obturación una abertura adaptada para recibir una primera fibra óptica (20),
un primer medio (22) de fijación para fijar dicha primera fibra óptica (20),
45 una primera lente óptica (24) que tiene una sección de recepción (23) adaptada para recibir dicho primer medio (22) de fijación para montar dicha primera fibra óptica (20) en continuidad óptica con dicha primera lente óptica (24), estando montada dicha primera lente óptica (24) en dicho alojamiento (12),
un primer filtro (26) de polarización montado en dicho alojamiento (12) en continuidad óptica con dicha primera lente óptica (24),
50 una barra (28) de vidrio recibida y encapsulada dentro de dicho alojamiento (12) en continuidad óptica con dicho primer filtro (26) de polarización, estando construida dicha barra (28) de vidrio de un material dotado de propiedades magneto-ópticas,
un segundo filtro (30) de polarización montado en dicho alojamiento (12) en continuidad óptica con dicha barra de vidrio,
55 una segunda lente óptica (32) montada en dicho alojamiento (12) en continuidad óptica con dicho segundo filtro (30) de polarización, estando adaptada dicha segunda lente óptica (32) para recibir un segundo medio (34) de fijación,
un segundo medio (34) de fijación para fijar una segunda fibra óptica (38), estando recibido dicho segundo medio (34) de fijación en dicha segunda lente óptica (32),
60 un segundo medio (36) de obturación para obturar dicho segundo extremo de dicho alojamiento (12), teniendo dicho segundo medio (36) de obturación una abertura para recibir una segunda fibra óptica (38),

estando montado dicho segundo medio (36) de obturación en dicho segundo extremo de dicho alojamiento (12), y
unas tapas primera y segunda (40, 42) adaptadas para su fijación en dichos extremos primero y segundo, respectivamente, de dicho alojamiento (12), incluyendo dichas tapas primera y segunda una abertura para recibir dichas fibras ópticas primera y segunda (38), respectivamente.

5

10

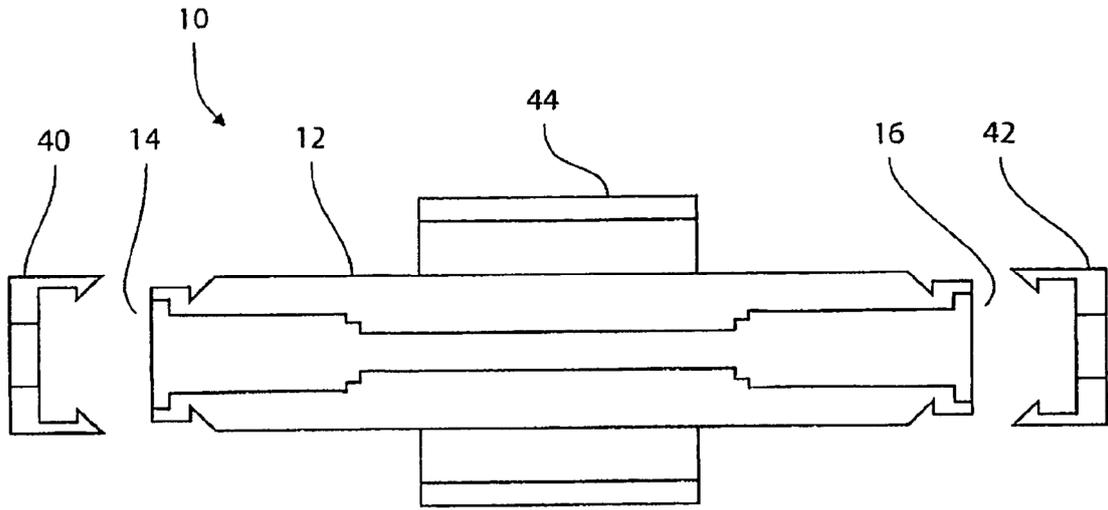


FIG. 1

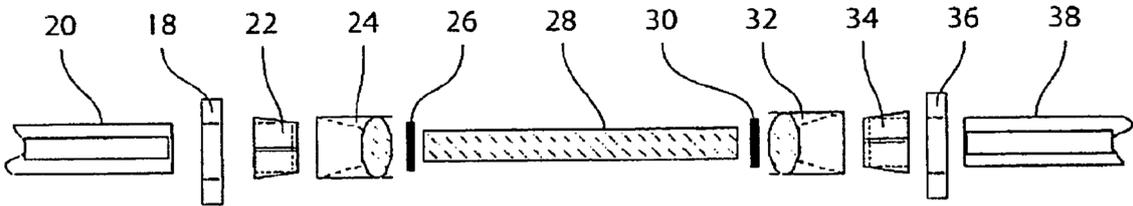


FIG. 2

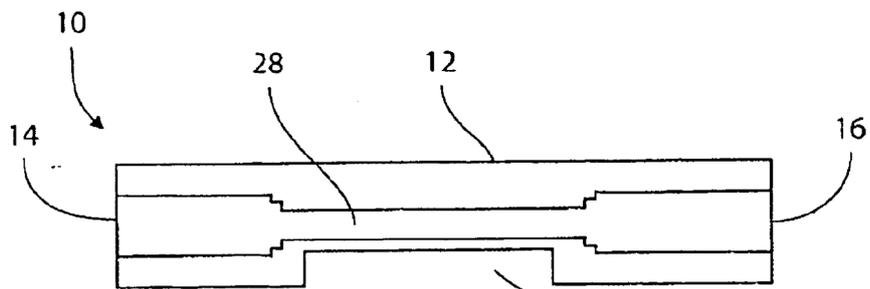


FIG. 3

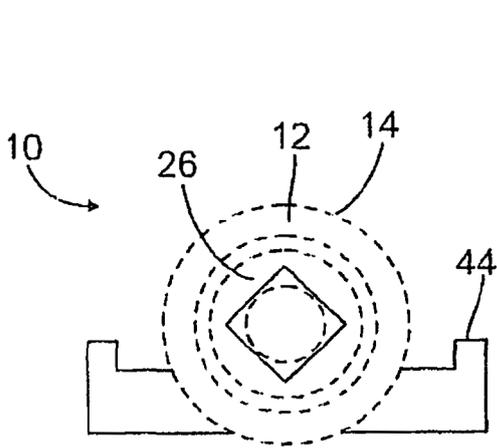


FIG. 4

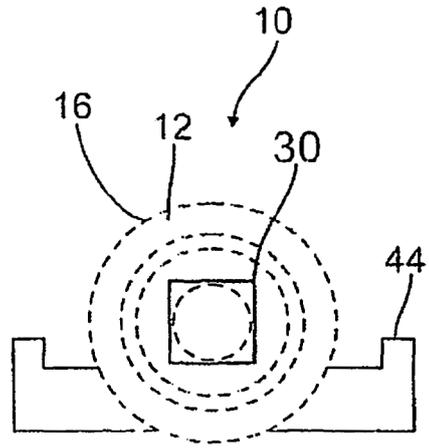


FIG. 5

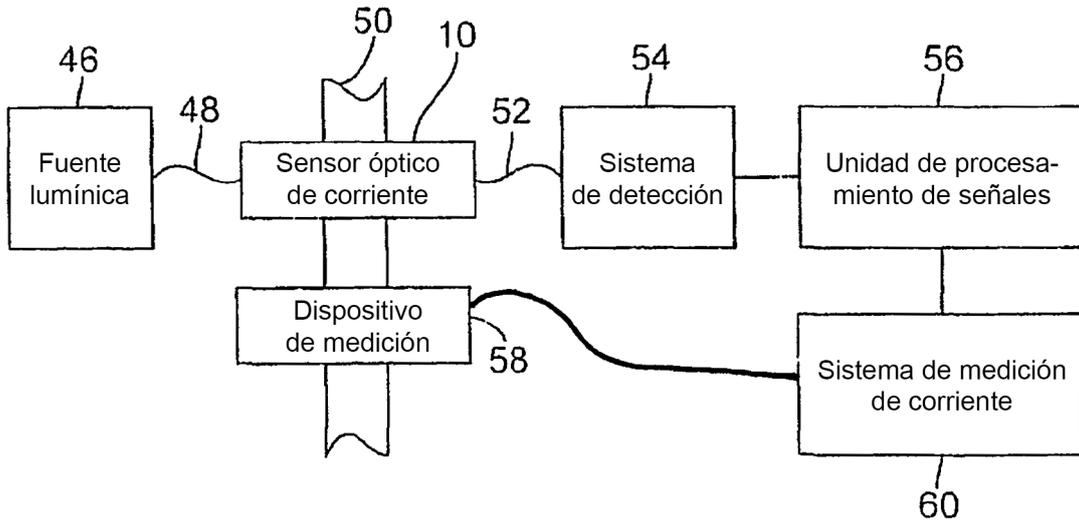


FIG. 6

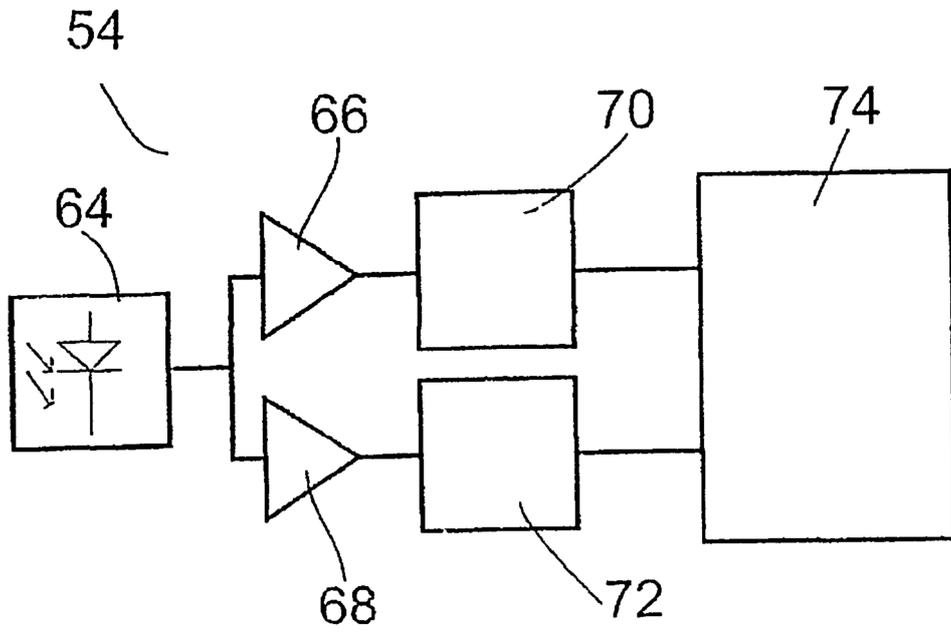


Fig 7

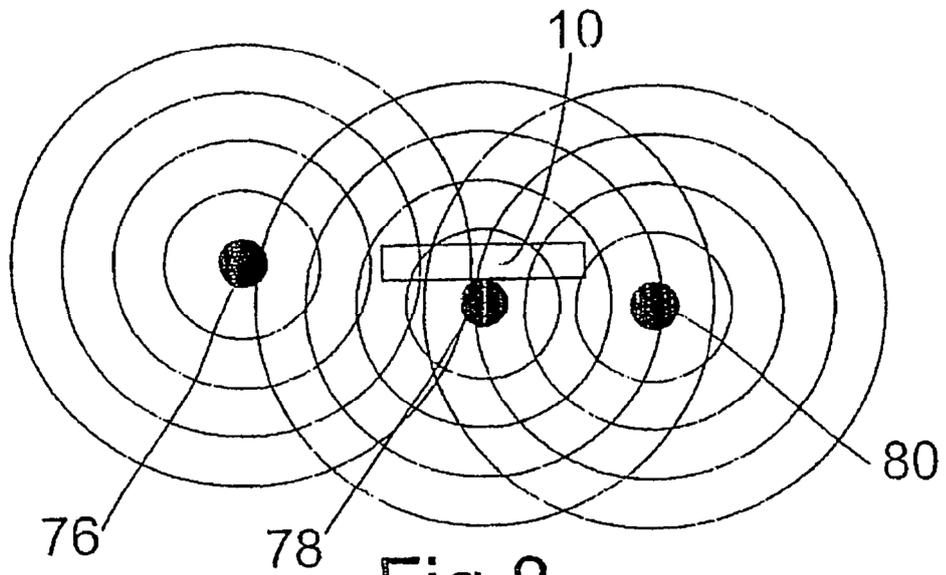


Fig 8

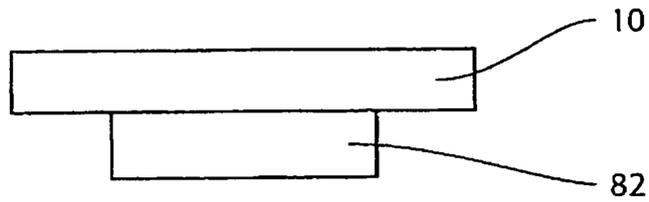


FIG. 9

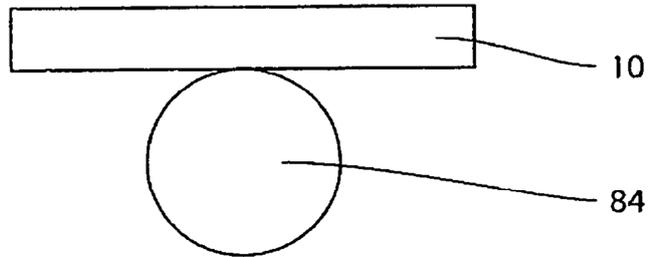


FIG. 10

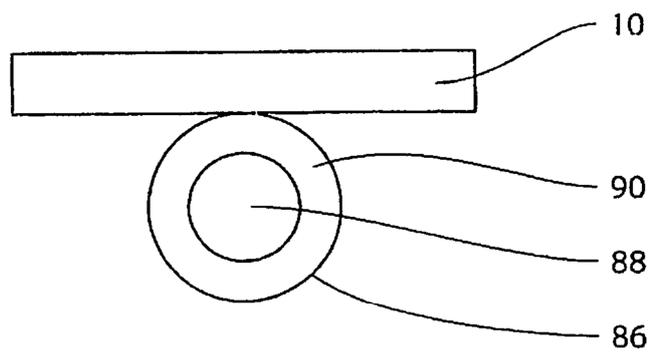


FIG. 11

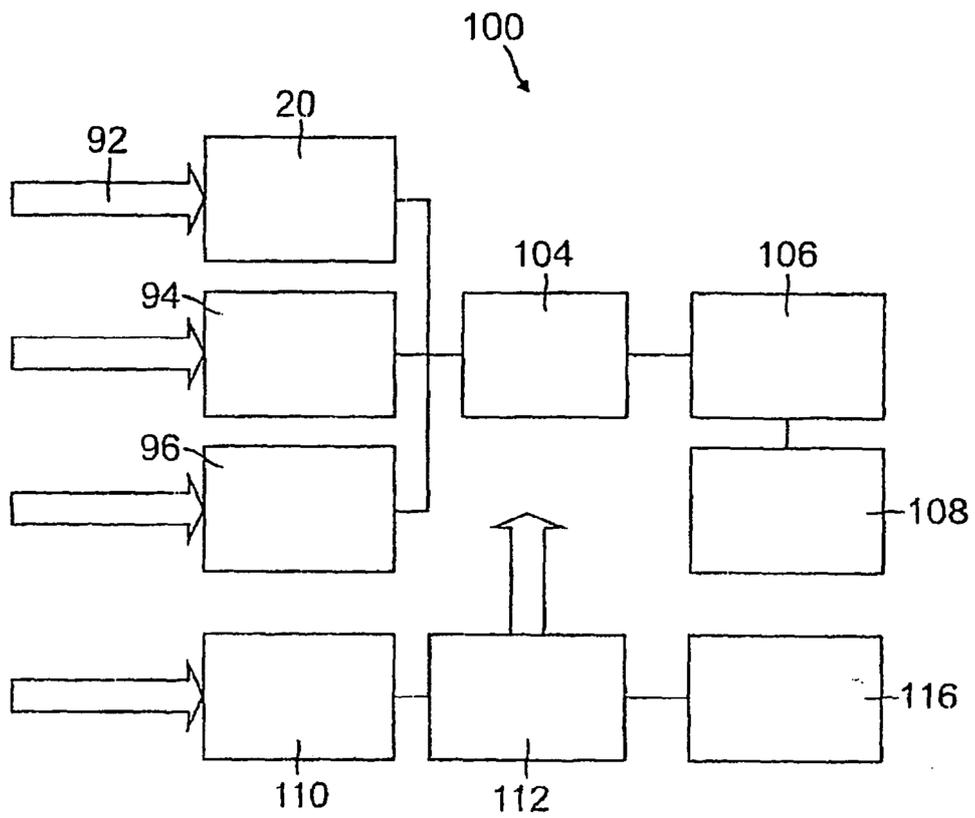


FIG. 12

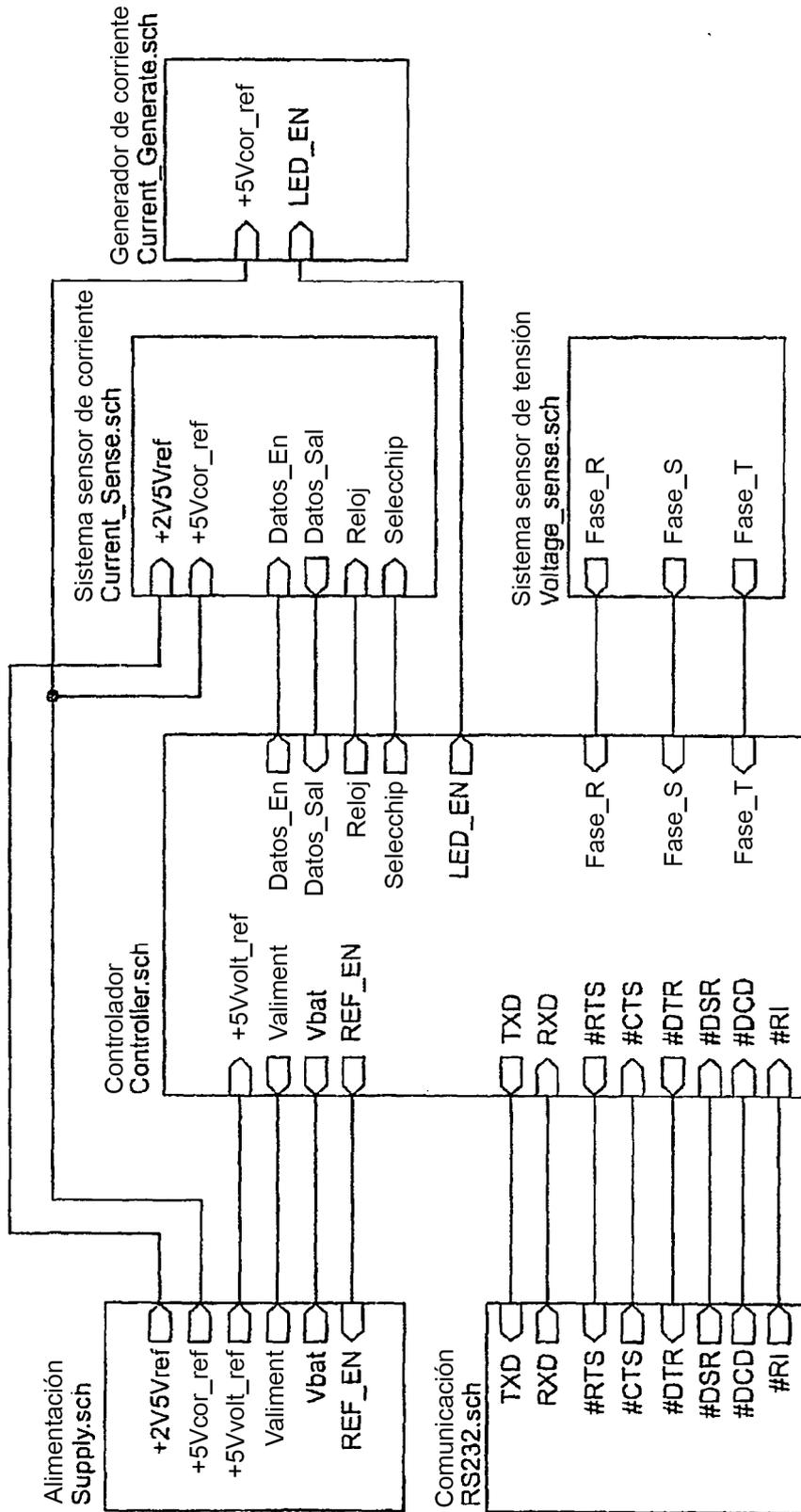


FIG. 13

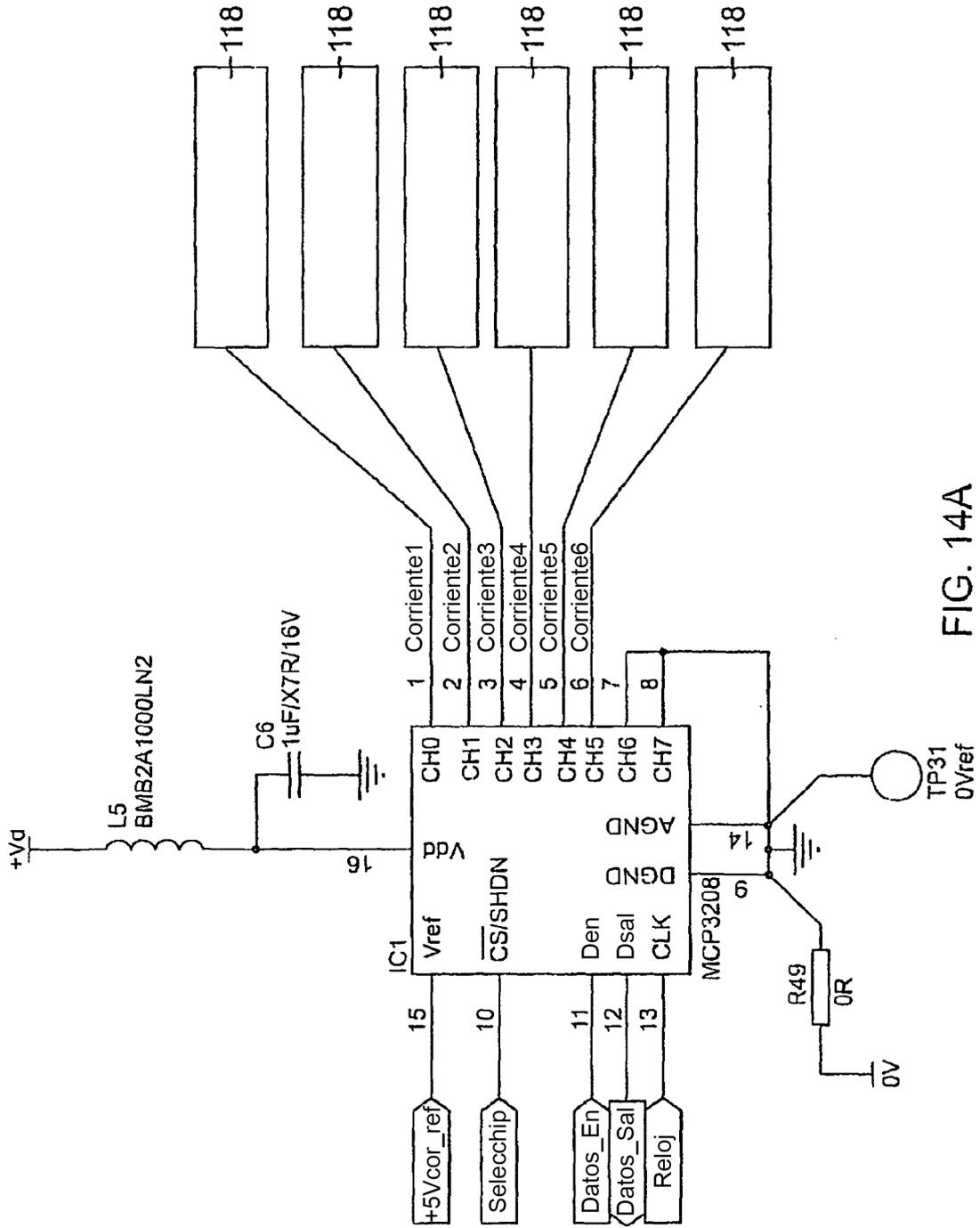


FIG. 14A

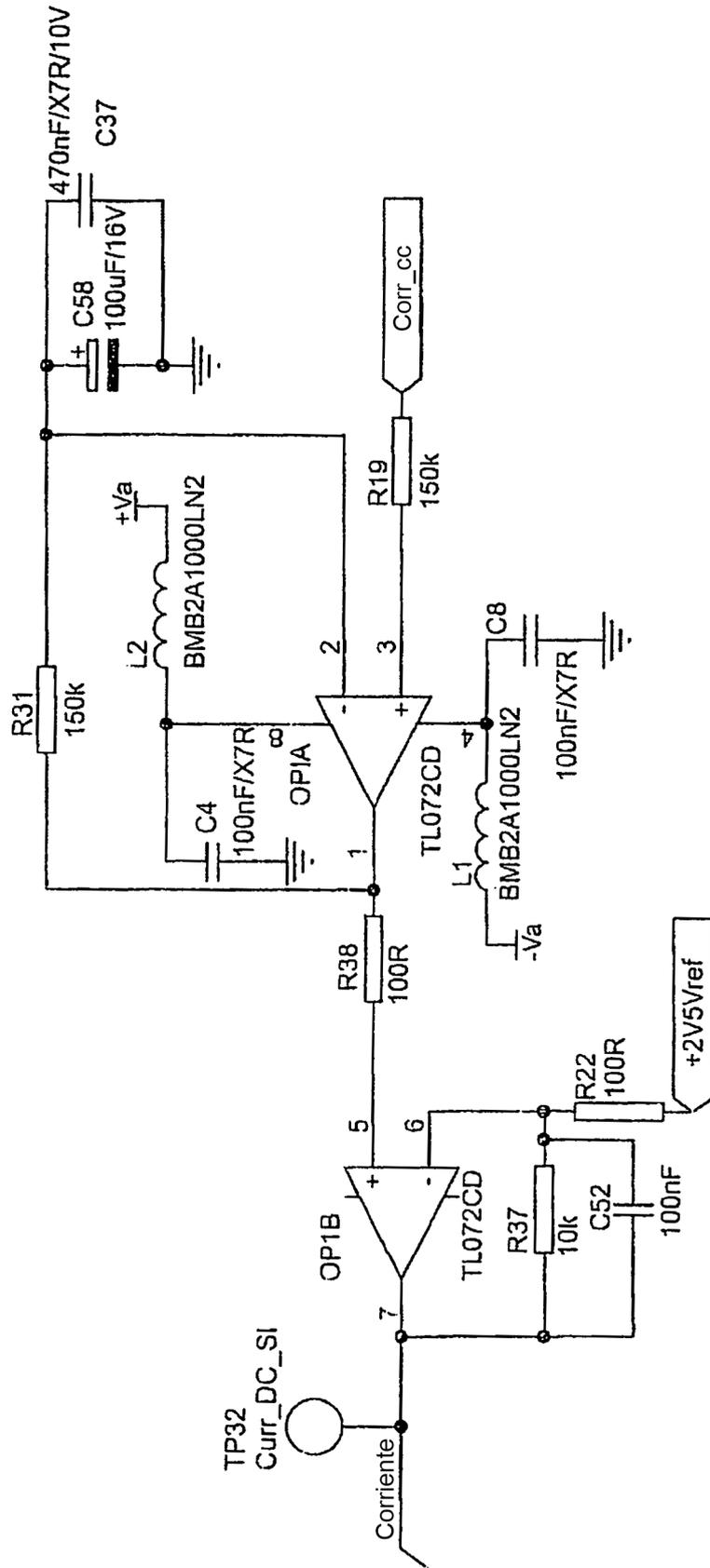


FIG. 14B

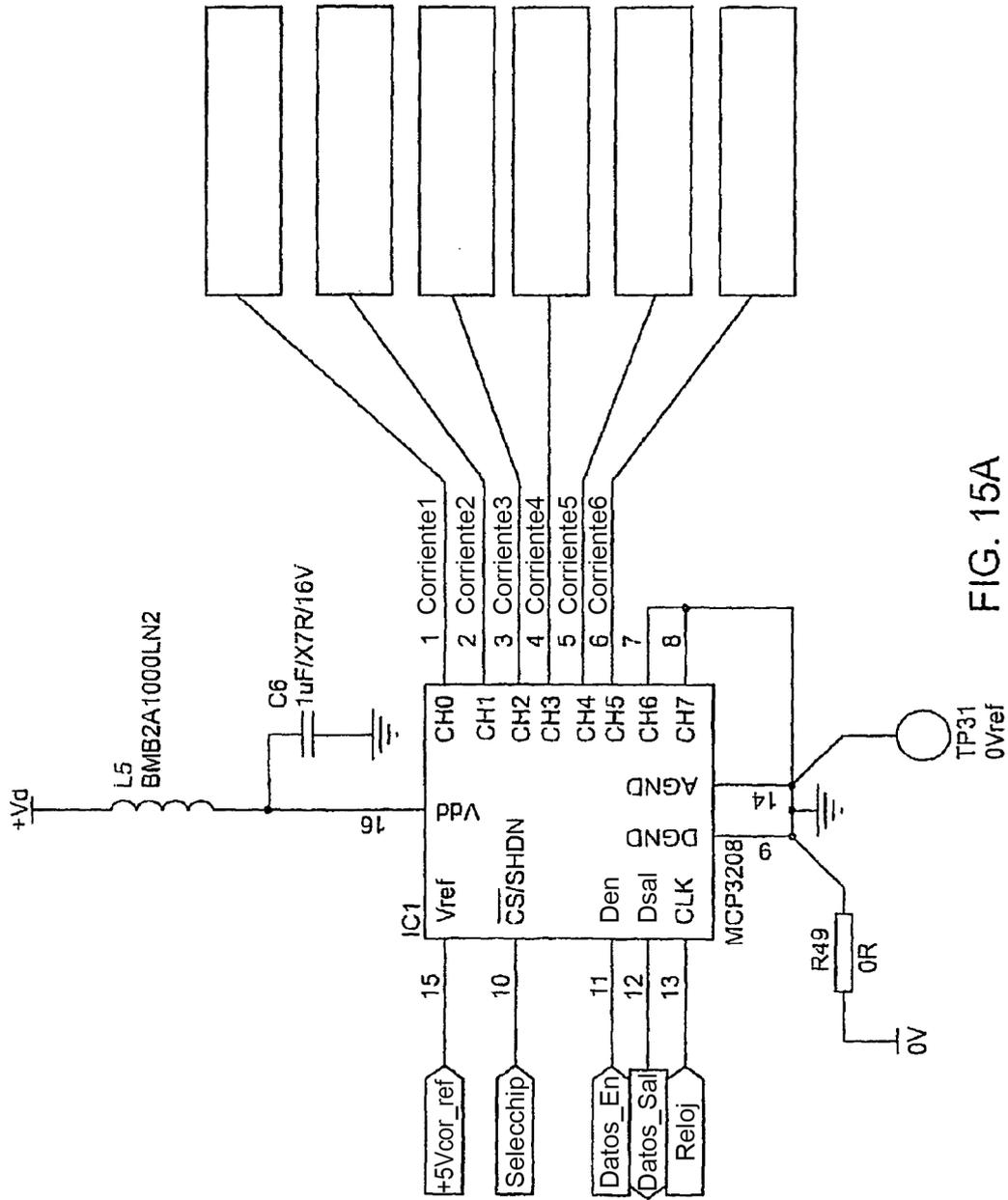


FIG. 15A

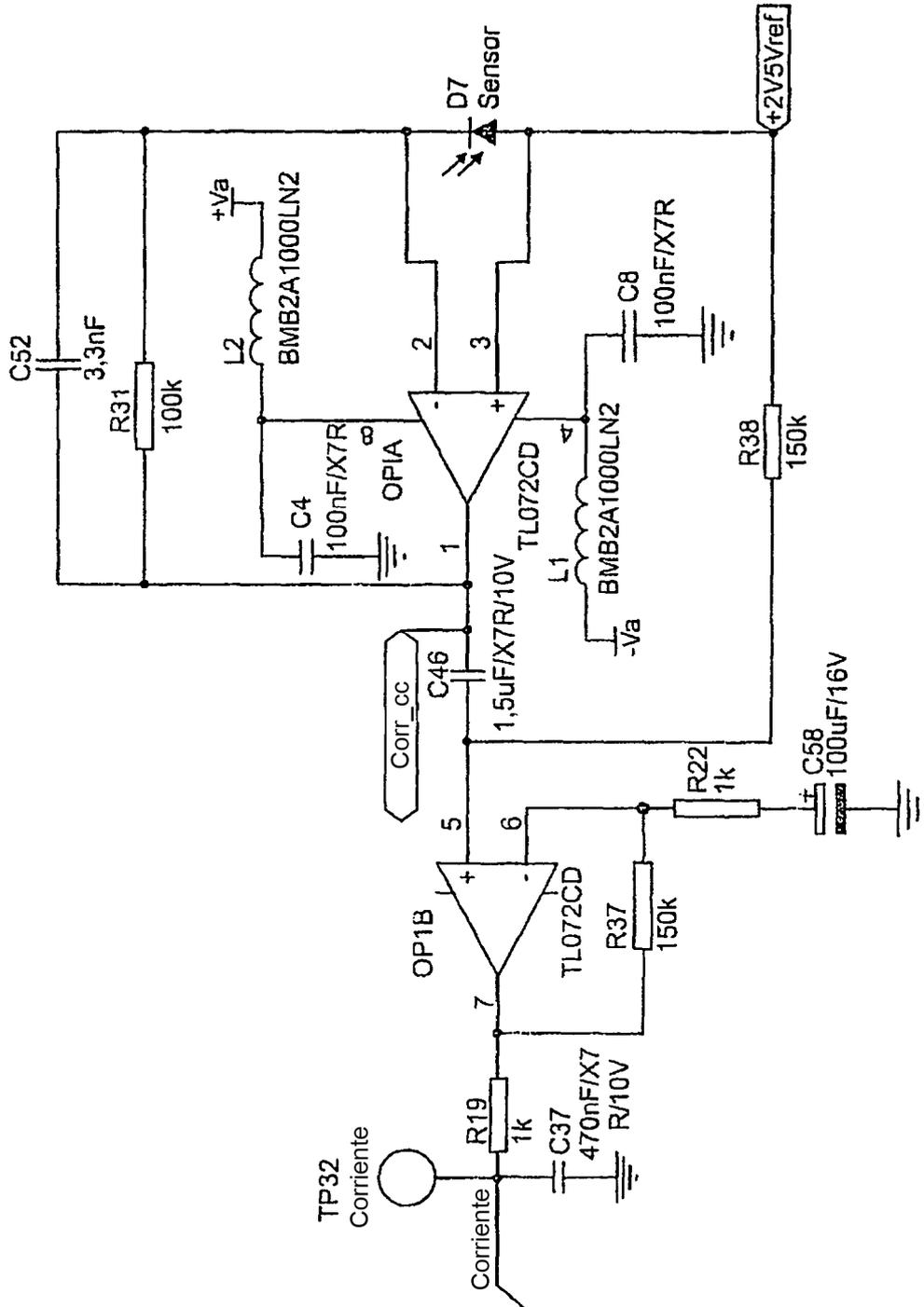


FIG. 15B

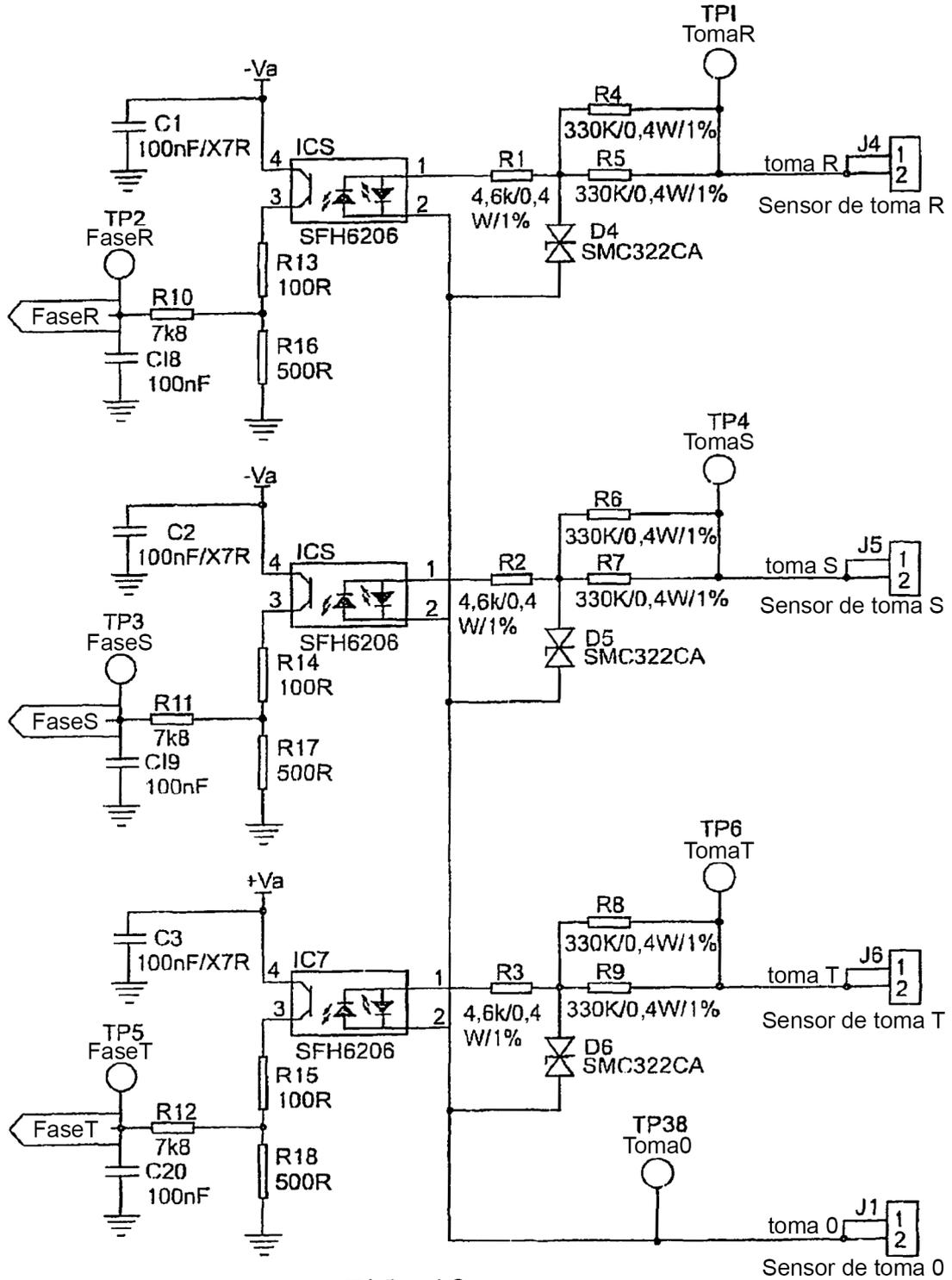


FIG. 16

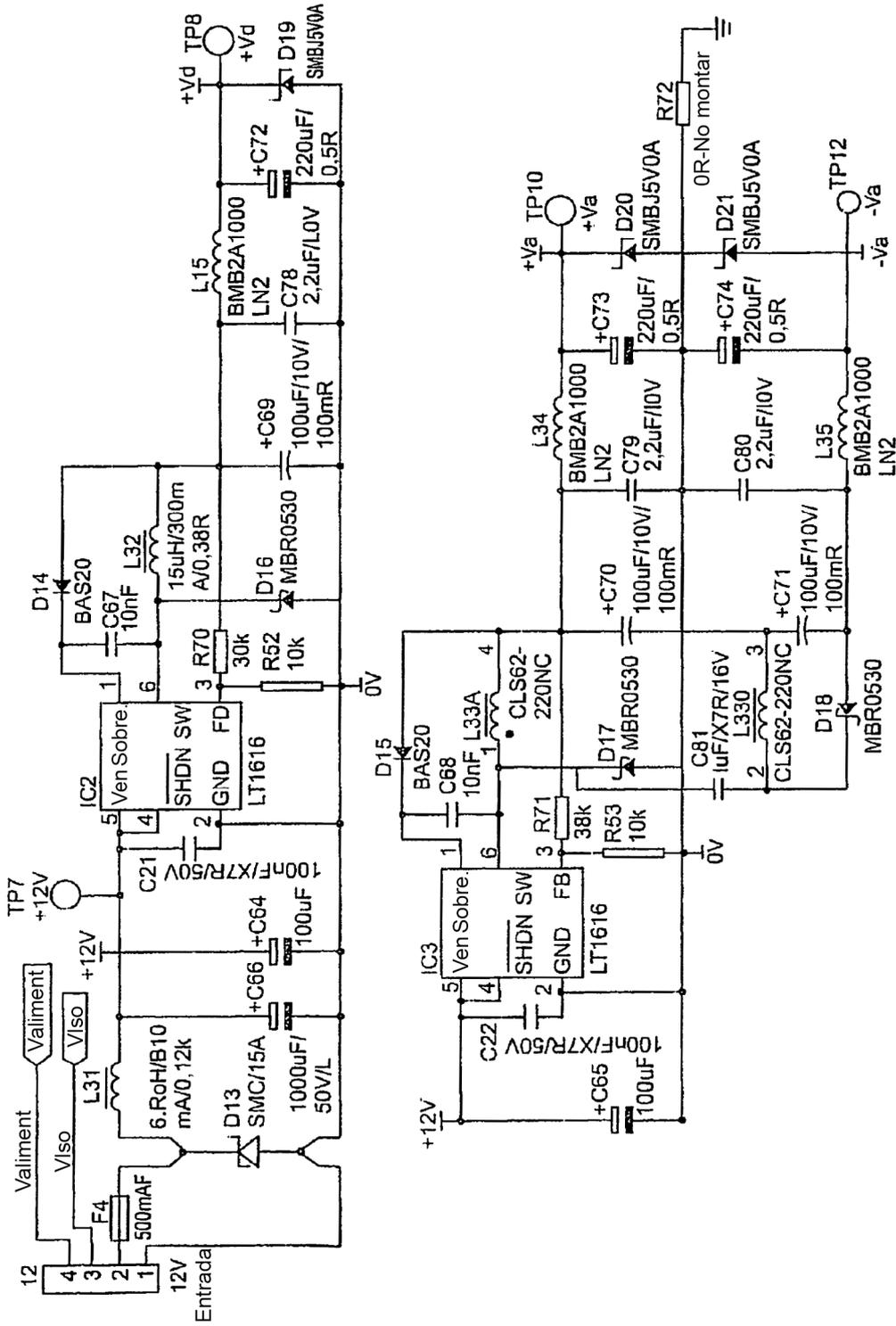


FIG. 17A

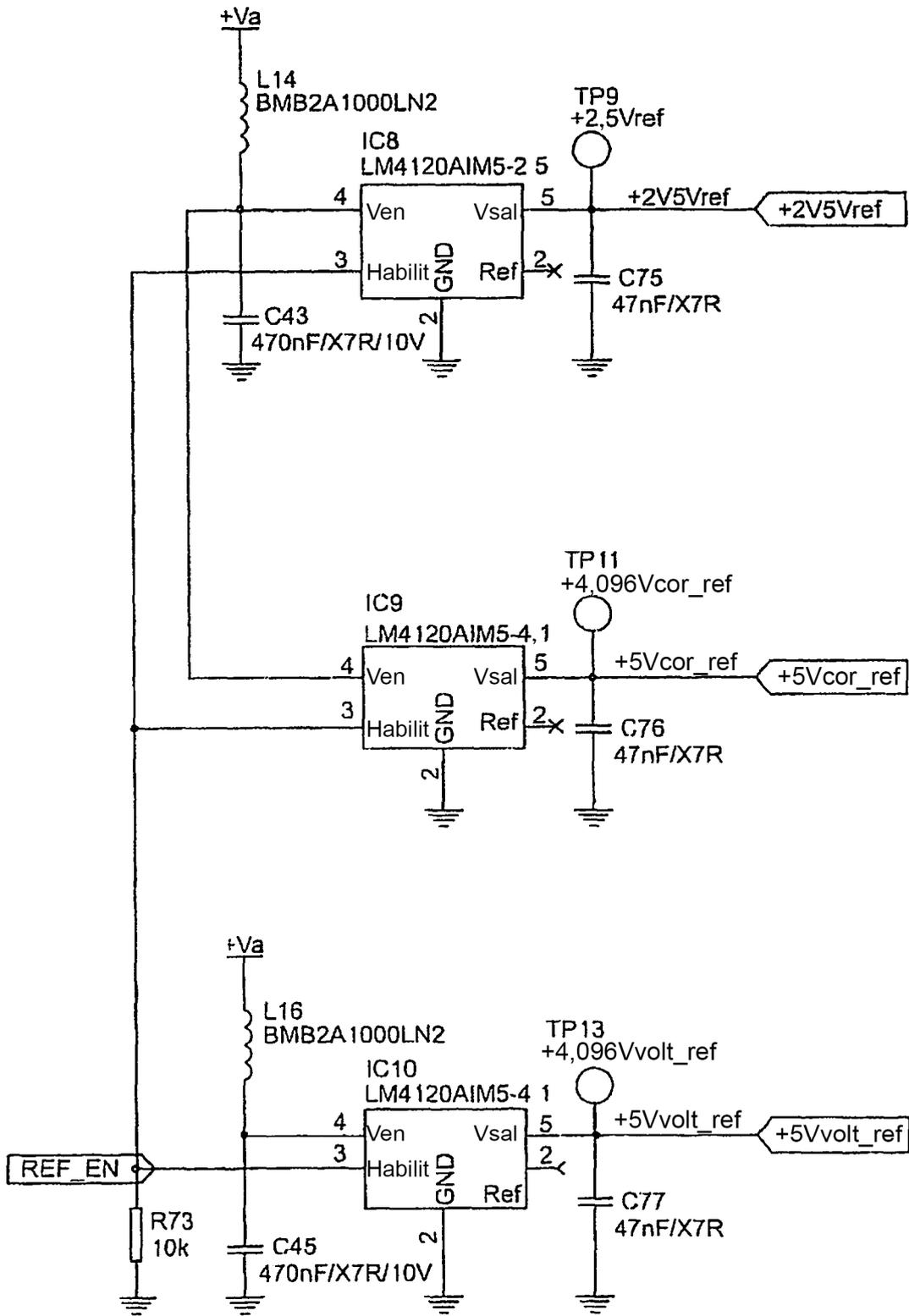


FIG. 17B

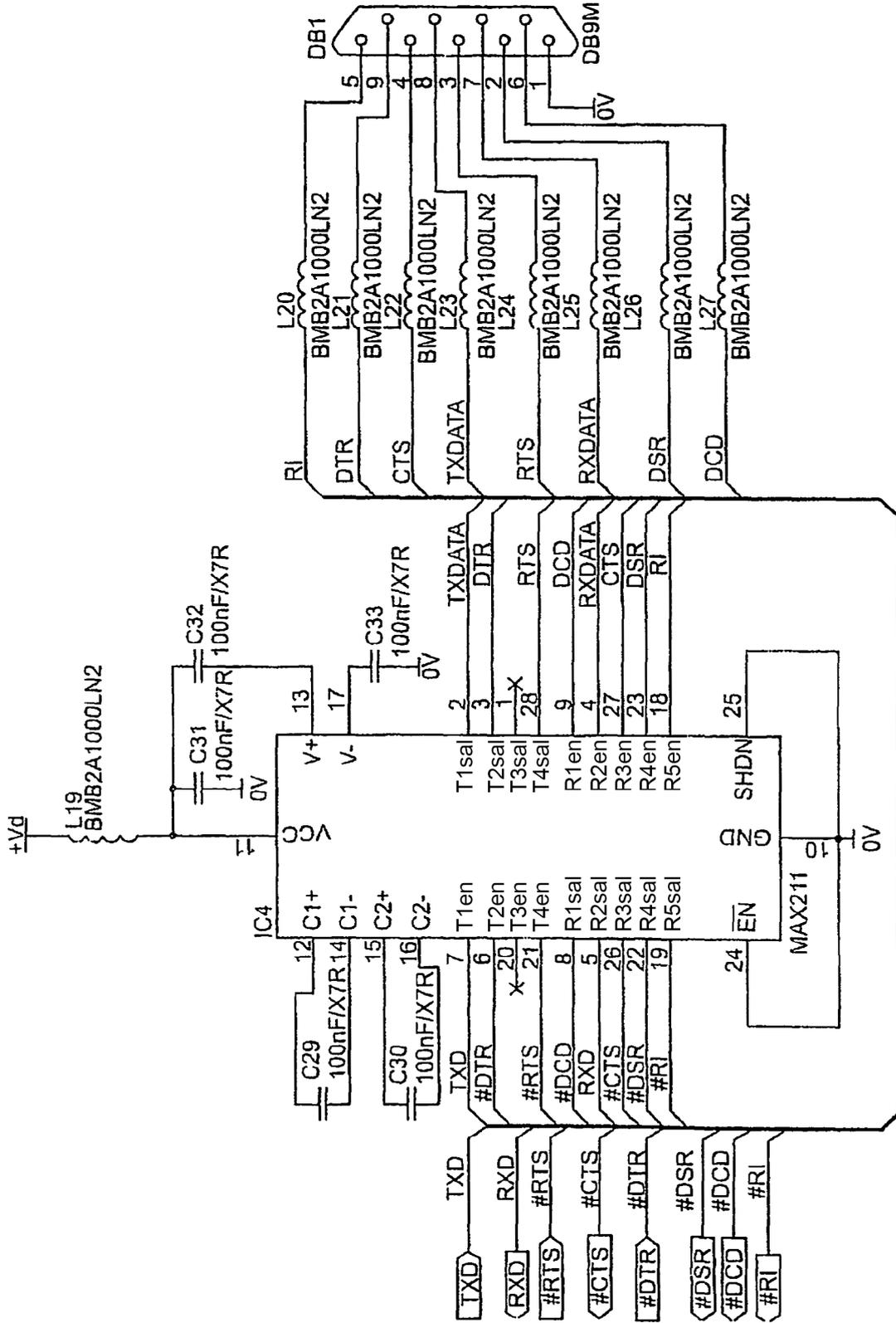


FIG. 18

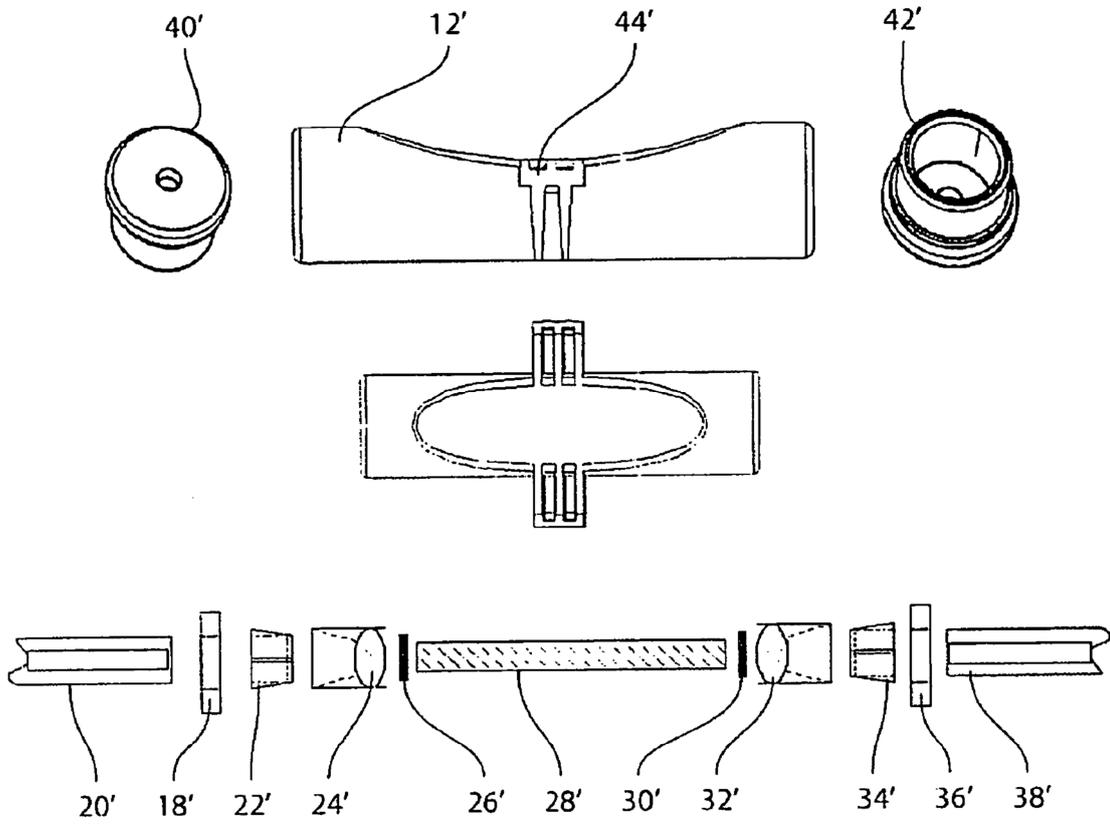


FIG. 19

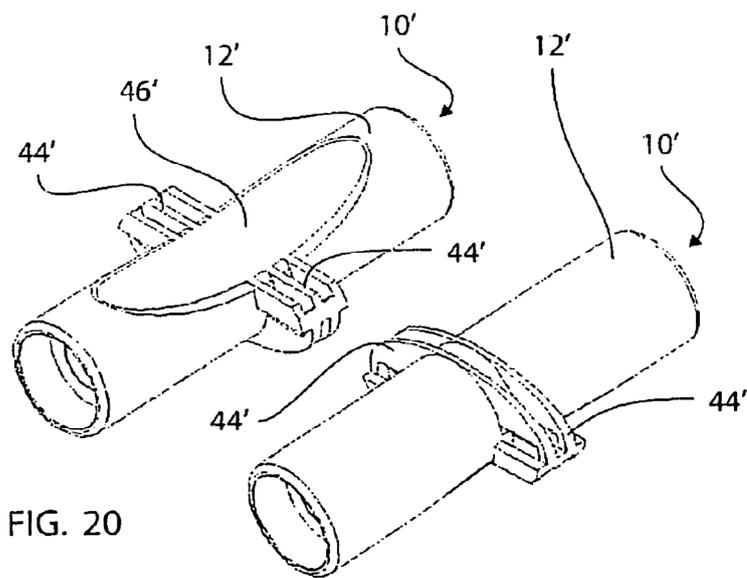


FIG. 20

FIG. 21

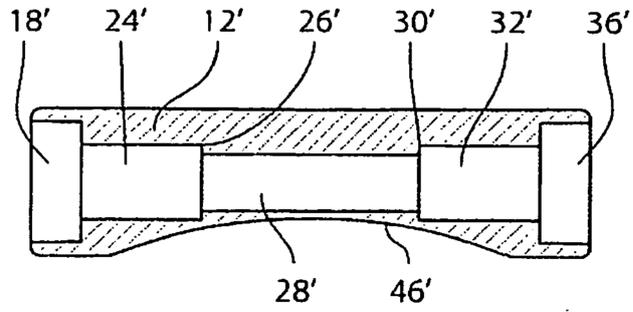


FIG. 22

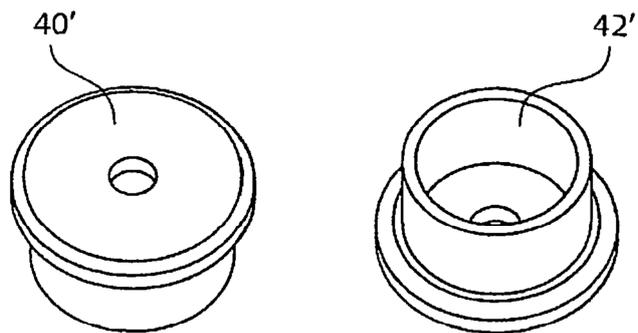


FIG. 23

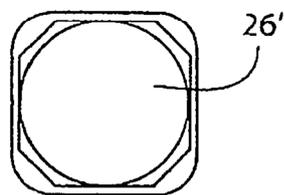


FIG. 24

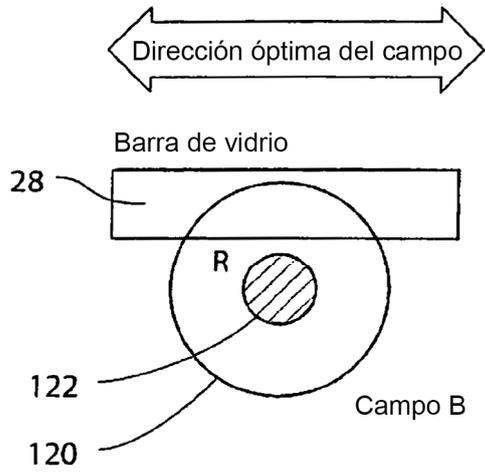


FIG. 25

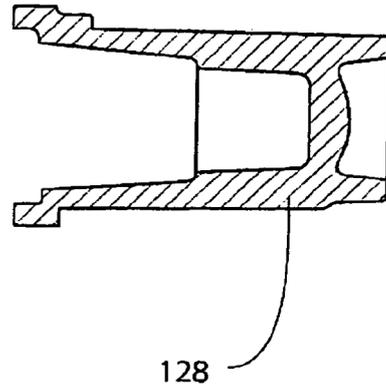


FIG. 26

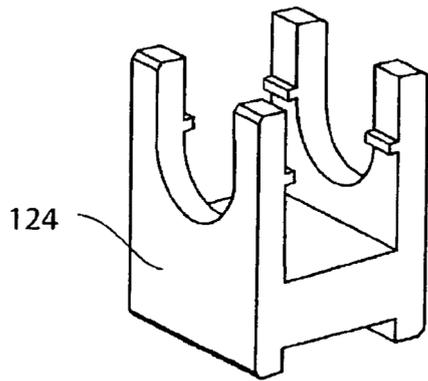


FIG. 27

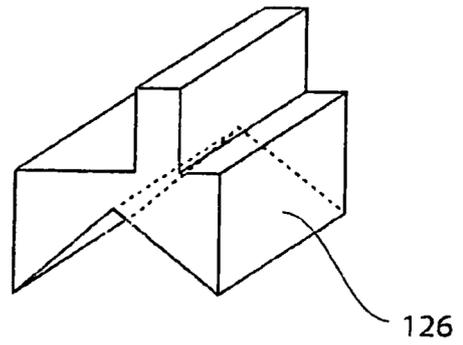


FIG. 28

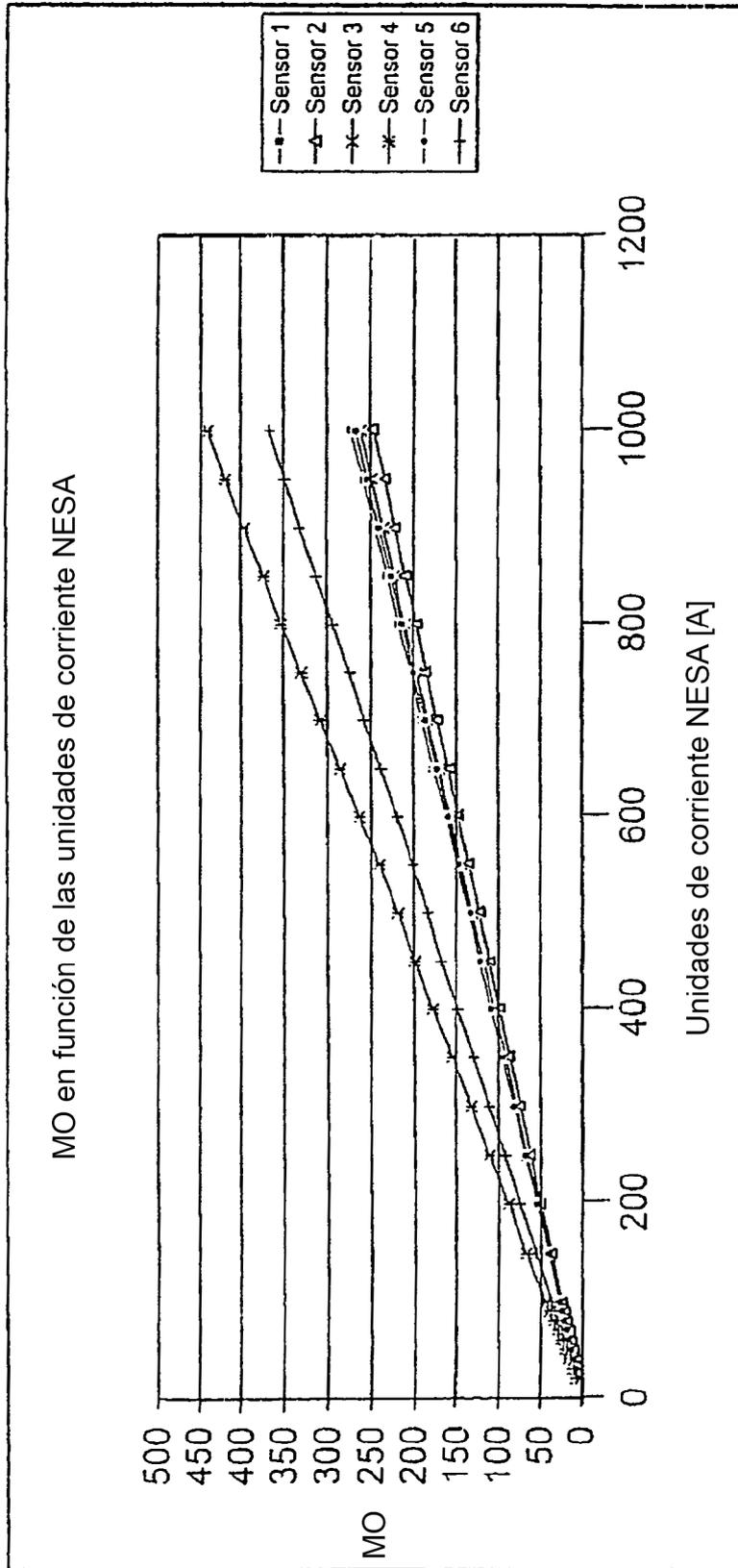


FIG. 29

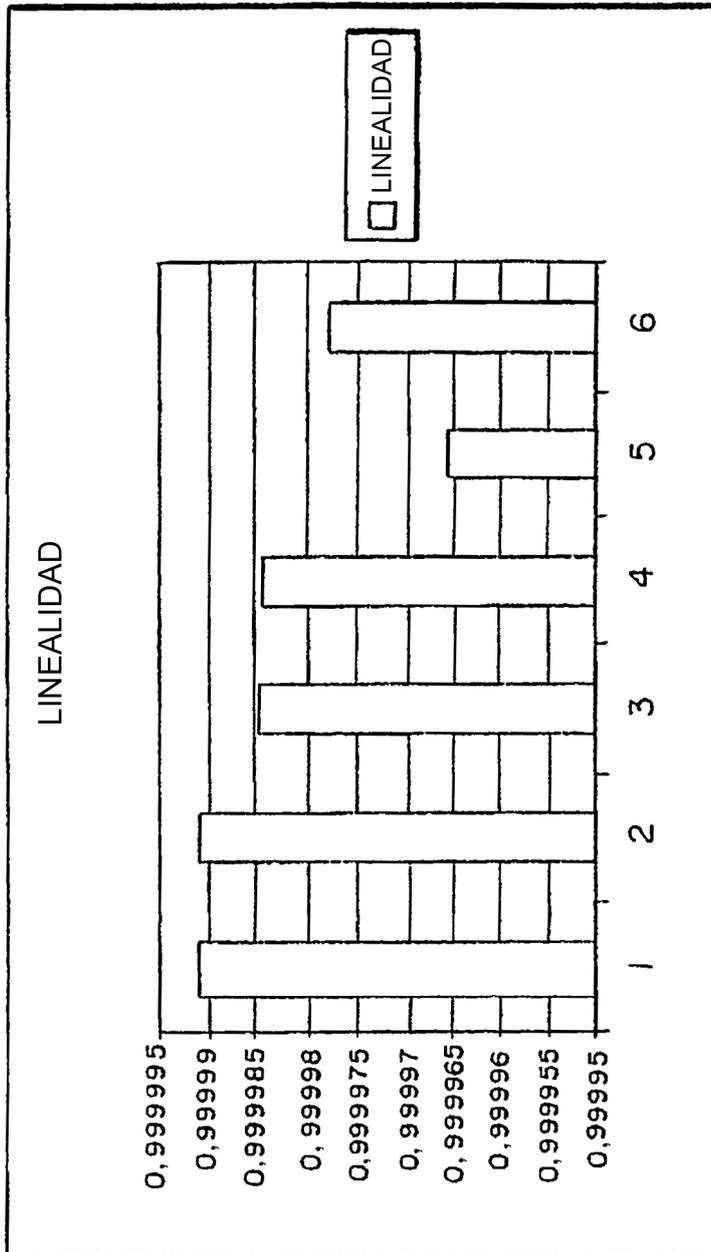


Fig. 30

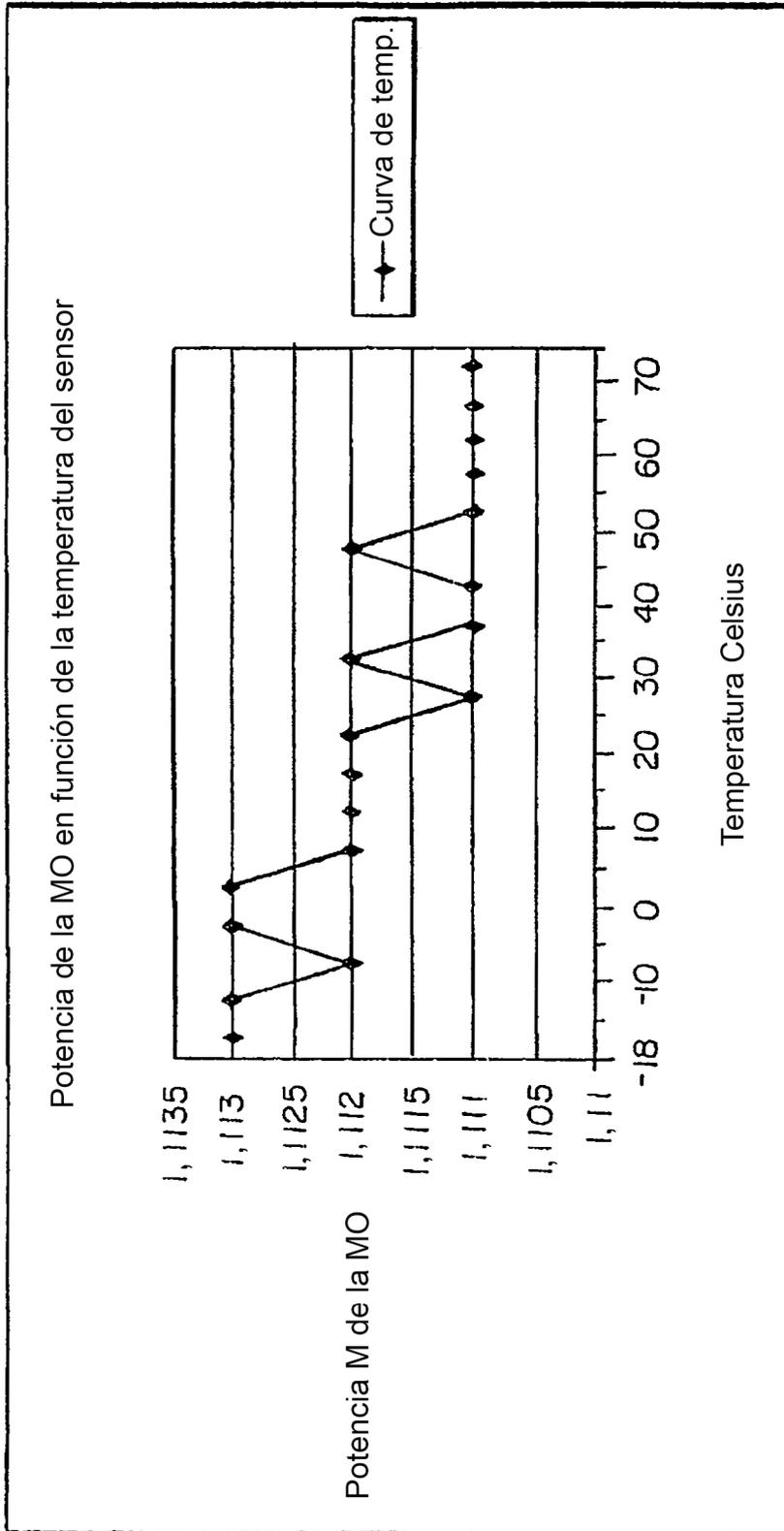


Fig. 31