



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 367 477**

51 Int. Cl.:  
**G01R 15/18** (2006.01)  
**H01F 38/30** (2006.01)  
**H01F 27/28** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02708518 .2**  
96 Fecha de presentación : **28.03.2002**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1438592**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.07.2004**

54 Título: **Sensor de corriente inductivo, para un contador de electricidad.**

30 Prioridad: **02.04.2001 GB 0108179**  
**04.05.2001 GB 0111027**  
**04.05.2001 GB 0111068**  
**01.10.2001 GB 0123519**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**03.11.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**03.11.2011**

73 Titular/es: **SENTEC LIMITED**  
**Terrington House, 13-15 Hills Road**  
**Cambridge CB2 1GE, GB**

72 Inventor/es: **Storkey, Mathew, Emmanuel, Milton y**  
**Colby, Edward, Grellier**

74 Agente: **Durán Moya, Luis Alfonso**

ES 2 367 477 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**

Sensor de corriente inductivo, para un contador de electricidad

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a sensores de corriente para medir corrientes que pasan por conductores. Más particularmente, pero no exclusivamente, la invención se refiere a un sensor de corriente que forma parte de un contador de electricidad de corriente alterna (AC) para medir la energía facilitada por una empresa suministradora.

10

Antecedentes de la invención

En una solicitud de patente PCT publicada, PCT/GB00/02851 (WO 01/11376), se describe un sensor de corriente que responde a un campo magnético generado por una corriente que pasa por un conductor de carga.

15

En una patente publicada de EE.UU. N° 4.894.610, se describe una disposición de transformador de corriente para un contador estático de electricidad.

20

En una solicitud de patente PCT publicada N° PCT/GB00/02604, se describe un circuito electrónico formado en un circuito impreso que está configurado como un convertidor de corriente a voltaje que usa una pista del circuito impreso como sensor; estando dispuesto el sensor en paralelo con un conductor portador de corriente primaria, por ejemplo, una barra bus.

25

El documento GB 2353099 describe un sensor de corriente que incluye un dispositivo para suprimir los efectos de los campos magnéticos no deseados.

Se presentan situaciones en las que se requiere un sensor de corriente que tenga las siguientes características:

30

- (a) un conductor que lleva corriente de carga que tiene una forma lineal simple;
- (b) un factor de escalado del sensor susceptible de modificación tan sólo alterando dimensiones del sensor en una dirección;
- (c) un dispositivo de circuito impreso, el cual se usa de manera eficiente y que es sustancialmente rectangular en su forma, con un número mínimo de vías y/o cruces; y
- (d) inmunidad virtual a campos magnéticos alternos generados de forma remota.

35

Los sensores de corriente actuales, descritos en las solicitudes PCT y patente de EE.UU. antedichas no son capaces de proporcionar simultáneamente todas las características (a) a (d) mencionadas en lo anterior.

40

Resumen de la invención

De acuerdo con la presente invención, se da a conocer un sensor de corriente de acuerdo con reivindicación 1.

Dicho sensor es capaz de uno o varios de los siguientes aspectos:

45

- (a) funcionar conjuntamente con un conductor que lleva corriente de carga, que tiene una forma lineal simple;
- (b) facilitar un factor de escalado de sensor susceptible de modificación tan sólo alterando dimensiones del sensor en una dirección;
- (c) ocupar un dispositivo de circuito impreso, el cual se usa de manera eficiente y es sustancialmente rectangular en su forma, con un número mínimo de vías y/o cruces; y
- (d) ser sustancialmente inmune a campos magnéticos alternos generados de forma remota.

50

Preferentemente, la línea o las líneas conductoras están dispuestas para acoplar sus campos magnéticos generados en respuesta a la o las corrientes que pasan por ellas preferentemente, a un subconjunto de las zonas, con lo cual se genera una señal residual indicativa de la magnitud de la o las corrientes; usando la señal residual para proporcionar la medición de la corriente. Preferentemente, el acoplamiento a un subconjunto de las zonas es ventajoso en el sentido de que las zonas se pueden disponer para proporcionar una respuesta sustancialmente insignificante a campos magnéticos uniformes generados por fuentes alejadas del sensor, haciendo al sensor sustancialmente insensible a tales campos uniformes, mientras se facilita sensibilidad de medición en virtud de, preferentemente, acoplar campos magnéticos generados por la corriente o las corrientes, a un subconjunto de zonas.

60

La línea o líneas conductoras son preferentemente implementadas como uno o más miembros conductivos alargados sustancialmente lineales en proximidad a las zonas, y están dispuestas para acoplarse magnéticamente, preferentemente, a una o más de las zonas. La incorporación de tales miembros conductivos esencialmente lineales es una ventaja en el sentido de que son más fáciles de fabricar en comparación con los miembros conductivos de forma compleja, por ejemplo, miembros conductivos que incluyen líneas de corriente circulares.

65

Preferiblemente, el miembro o miembros conductivos alargados forman un conjunto con los elementos alargados en un sustrato aislante. El montaje integral del o de los miembros alargados en el sustrato es ventajoso en el sentido de que la sensibilidad de medición del sensor se ve excepcionalmente aumentada en comparación con el montaje separado de los miembros alargados con respecto al sustrato.

5 Alternativamente, el miembro o miembros conductivos alargados están, preferentemente, dispuestos espacialmente separados mutuamente de los elementos alargados, por un intersticio. Tal configuración separada es ventajosa en el sentido de que el sensor es capaz de funcionar con una diferencia de potencial mayor entre el o los miembros y los elementos alargados.

10 Preferentemente, las zonas son implementadas como regiones alargadas que comprenden bobinas. Tal disposición alargada de las regiones alargadas ayuda a aumentar la sensibilidad de medición del sensor, en comparación con una implementación no alargada del sensor.

15 Preferentemente, para mejorar la capacidad de fabricación y reducir costos, los elementos alargados son realizados en forma de pistas conductoras en un circuito impreso.

A causa del uso de una transformación descrita más adelante, es factible reducir la necesidad de cruces de pistas y con ello, evitar en gran medida la necesidad de emplear vías de circuito impreso. De esta forma, los elementos alargados del sensor están, preferentemente, interconectados en el circuito impreso substancialmente sin necesidad de usar vías.

20 Más preferentemente, el circuito impreso es un panel de capas múltiples y las bobinas alargadas son duplicadas en una pluralidad de niveles en el panel y las correspondientes zonas superpuestas, acopladas para aumentar la sensibilidad de medición de corriente del sensor.

25 Por ejemplo, las bobinas alargadas están preferentemente duplicadas en varias de las capas en forma de una pila y conectadas en serie para proporcionar un aumento en la magnitud de la señal de salida, que resulta de campos magnéticos generados por el flujo de corriente en la o las líneas conductoras que se acoplan en la pila.

30 Preferentemente, bobinas alargadas de las zonas superpuestas están interconectadas en regiones alejadas desde donde el o los conductores de carga se unen magnéticamente a uno o más de los elementos. La implementación de interconexión en regiones alejadas para zonas de acoplamiento activas del sensor permite lograr una mayor sensibilidad de medición del sensor.

35 La insensibilidad del sensor con respecto a campos magnéticos uniformes generados de forma remota es una característica de eficiencia importante del sensor. Especialmente, cuando el sensor es implementado con una pila de bobinas alargadas, hay tendencia a que el sensor se haga sensible a campos magnéticos uniformes que inciden paralelos al plano del sensor. Cambiando alternadamente la conexión de elementos alargados en varias capas, es posible disponer que las FEM (fuerzas electromotrices) generadas por campos uniformes en un plano se opongan mutuamente, haciendo que el sensor sea substancialmente inmune a tales campos uniformes. De esta forma, preferentemente, las bobinas alargadas están conectadas alternadamente entre capas para así hacer al sensor menos sensible a campos magnéticos uniformes incidentes en el sensor, que tienen componentes de campo paralelos al plano del sensor.

45 Convenientemente, para hacer al sensor más eficiente en su uso de circuitos impresos, las bobinas alargadas están preferentemente dispuestas de manera que sus ejes alargados sean, de modo sustancial, mutuamente paralelos.

50 Para que el sensor proporcione una respuesta de medición substancialmente lineal para un amplio rango de corrientes transportadas a través del sensor a la carga, las bobinas alargadas están preferentemente acopladas de forma no ferromagnética a la o las líneas conductoras. El uso de componentes ferromagnéticos en el sensor le daría un límite superior de medición lineal debido a la saturación magnética del componente ferromagnético.

55 En aplicaciones sensibles al costo, es deseable que el sensor sea capaz de proporcionar una medición de corriente promedio en una pluralidad de líneas conductoras. Por lo tanto, el sensor es dispuesto, preferiblemente, de manera tal que una pluralidad de las líneas conductoras están colocadas en caras principales opuestas del plano abarcando las bobinas alargadas, con lo cual el sensor proporciona en su uso una señal de salida indicadora de la suma de la o las corrientes que pasan por la pluralidad de líneas conductoras. Escalando la suma con el número de líneas de corriente presentes, se puede lograr una medición de flujo de corriente promedio en las líneas de corriente.

60 El sensor puede ser complementado por uno o más sensores de voltaje para propósitos de medición de potencia. Por lo tanto, preferentemente, el sensor además comprende medios sensores para detectar sustancialmente el voltaje de la fuente de potencia y generar una correspondiente medición de voltaje. Un producto de la medición de corriente y la medición de voltaje permite que se calcule una medición de potencia.

65

5 Cuando el sensor es usado para medir potencia, el sensor preferentemente además comprende medios de procesamiento de señal para integrar la medición de corriente con respecto al tiempo para proporcionar una medición de corriente integral y medios de cálculo para calcular el producto de la medición de corriente integral y la medición de voltaje para deducir una medición de la energía consumida por la carga.

5 Para hacer al sensor relativamente económico de fabricar cuando se lo adapta para aplicaciones de detección de potencia, los medios de procesamiento de la señal y los medios de cálculo están preferentemente integrados a un solo circuito integrado de silicio.

10 Ventajosamente, el sensor comprende además preferiblemente, una memoria para almacenar datos de calibración para uno o más de, factor de corrección de escala, errores de fase y compensación, dentro del sensor. Tal calibración es importante para muchas aplicaciones potenciales para el contador, por ejemplo, en especial cuando se produce la facturación a un cliente sobre la base de mediciones proporcionadas por el sensor. Además, a menudo la calibración puede ser un procedimiento que consume tiempo y, por lo tanto, caro durante la fabricación del sensor, en consecuencia, grabar datos de calibración en la memoria puede facilitar una calibración más rápida durante la fabricación. Los datos de calibración pueden, por ejemplo, ser usados con posterioridad para escalar la salida desde el sensor cuando el sensor está en funcionamiento. Más preferentemente, la memoria también puede funcionar para almacenar información de número de serie y la medición de potencia consumida por la carga. Con el fin de que los datos almacenados en la memoria no se pierdan cuando se retire la energía del sensor, preferentemente la memoria incluye una memoria no volátil, por ejemplo, EEPROM (memoria de sólo lectura programable, borrable eléctricamente).

25 La interrogación remota de sensores es un requerimiento funcional actual cada vez más importante. De este modo y preferentemente, el sensor comprende medios de interfaz para permitir que el sensor sea interrogado desde una posición alejada. Más preferentemente, los medios de interfaz comprenden una conexión a Internet para permitir que el sensor sea interrogado y/o entregar datos de medición vía Internet.

30 En un segundo aspecto de la presente invención, se da a conocer un contador de energía eléctrica que comprende uno o más sensores de acuerdo con el primer aspecto de la invención, para uso en la medición y registro de la energía eléctrica consumida.

35 Preferiblemente, el contador está configurado en una configuración de tipo 2S; la configuración tipo 2S se definirá más adelante. Más preferentemente, para reducir el número de sensores de corriente requeridos, el contador comprende un solo sensor de acuerdo con el primer aspecto de la invención dispuesto para proporcionar en uso una medición de corriente promedio de las corrientes que pasan por una pluralidad de conductores de carga instalados muy próximos a, o en contacto con, el sensor. Más preferentemente, la pluralidad de conductores de carga está instalada en caras principales opuestas del único sensor.

40 Alternativamente, el contador puede adoptar una configuración de tipo 12S; la configuración de tipo 12S se define más adelante.

45 Alternativamente, el contador es implementado preferentemente como un contador de tres fases y está provisto de dos sensores de corriente y medios para deducir una corriente de la tercera fase llevando a cabo la solución de una ecuación simultánea a señales derivadas de dichos dos sensores de corriente. Al usar la solución, por ejemplo, basada en el teorema de Blondel, es posible reducir el número de sensores de corriente requeridos y así, hacer que el contador sea menos caro de fabricar, más simple de construir y más compacto.

50 En un tercer aspecto de la presente invención, se da a conocer un método para calibrar un sensor de acuerdo al primer aspecto de la presente invención; comprendiendo dicho método las siguientes etapas:

- (a) aplicar un voltaje de suministro  $-V_{in}$  con corriente esencialmente cero extraída del sensor, y luego calcular una potencia de compensación cero para asegurar la precisión de potencia cero del sensor;
- (b) extraer una corriente funcional conocida desde el sensor a una carga y calcular una constante de calibración de ganancia para asegurar un factor de escala de potencia preciso; y
- (c) aplicar una señal de corriente que sea sustancialmente reactiva, por ejemplo con  $89^\circ$  grados entre vectores de voltaje y corriente, y luego calcular una constante de calibración de fase.

60 Preferentemente, la potencia de compensación cero, el factor de escala de potencia y la constante de calibración de fase son almacenados en una memoria no volátil del sensor.

65 En un cuarto aspecto de la presente invención, se da a conocer un método para medir potencia eléctrica usando un sensor de acuerdo al primer aspecto de la presente invención; comprendiendo dicho método las siguientes etapas:

- (a) conectar el sensor a la fuente de potencia;
- (b) conectar una carga al sensor;
- (c) conectar medios sensores de voltaje al sensor en donde está conectado a la carga;

- (d) tomar una medición de la corriente liberada a través del sensor a la carga y una medición del voltaje desarrollado a través de la carga; y  
(e) calcular el producto de la medición de corriente y la medición de voltaje para conseguir una medición de potencia consumida por la carga.

5 Preferentemente, el método además comprende el paso de integrar la medición de potencia para obtener una medición de potencia acumulativa consumida por la carga. Más preferentemente, la medición acumulativa de potencia es almacenada en una memoria no volátil. Lo más preferente, la memoria no volátil es una memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente (EEPROM).

10 Para hacer que el método sea menos caro y más simple de aplicar, el sensor es preferiblemente configurado para medir un promedio de corriente que pasa por una pluralidad de líneas con mucha proximidad a, o en contacto con, el sensor.

#### 15 Breve descripción de las figuras

A continuación se describirán realizaciones de la presente invención, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los siguientes dibujos en los cuales:

20 La figura 1 es una vista en sección de un conductor de carga y un circuito impreso con un campo magnético alrededor del conductor de carga.

La figura 2 es una vista en planta de un transductor;

25 La figura 3 es una vista de una característica de respuesta del transductor de la figura 2 a un campo magnético local generado a lo largo de una línea -XX'- en la figura 2;

La figura 4 es una ilustración de un sensor de corriente que comprende dos transductores del tipo mostrado en la figura 2 superpuestos entre sí;

30 La figura 5a es una ilustración de una disposición de conexión alternativa para una primera región del sensor de corriente de la figura 4;

35 La figura 5b es una ilustración de una disposición de conexión alternativa para una segunda región del sensor de corriente de la figura 4;

La figura 5c es una ilustración de una disposición de conexión alternativa para una tercera región del sensor de corriente de la figura 4;

40 La figura 6 es una ilustración de un sensor de corriente que incorpora las disposiciones de interconexión alternativas de las figuras 5a, 5b, 5c;

La figura 7 es una ilustración de un sensor de corriente que comprende elementos de bobina esencialmente lineales y alargados;

45 La figura 8 es un esquema de una relación entre elementos de conductor de la figura 7 y los transductores de la figura 4;

La figura 9 es un esquema de configuraciones de contador de electricidad tipo 2S y 12S;

50 La figura 10a es una vista isométrica de un contador de electricidad de tres fases;

La figura 10b es una vista en planta de un circuito impreso que forma parte del contador de electricidad de la figura 10a.

55 La figura 11 es una vista esquemática de un contador de electricidad que ilustra sus principales elementos.

La figura 12a es una vista esquemática de una primera configuración alternativa para elementos del contador de la figura 11;

60 La figura 12b es una vista esquemática de una segunda configuración alternativa para elementos del contador de la figura 11;

65 La figura 13 es un esquema de bloques de un submontaje de PCB (circuito impreso) de un sensor para el contador de la figura 11;

La figura 14 es un esquema de circuito del submontaje de sensor de la figura 13; y

La figura 15 es un esquema de circuito de un submontaje del PCB (circuito impreso) de la pantalla para el contador de la figura 11.

5

#### Descripción de realizaciones de la invención

Con referencia a la figura 1, en ella se muestra una vista en sección de un circuito impreso (PCB) -10- y un conductor de carga -11-. El conductor de carga -11- está instalado por encima del PCB con una separación pequeña, por ejemplo en un margen de 0,5 mm a 4 mm, entre el conductor y el PCB -10-. Si se requiere, el conductor de carga -11- puede alternativamente hacerse integrado con el PCB -10-.

10

El conductor de carga -11- se muestra con una corriente que pasa por él hacia el plano del dibujo. Esta corriente produce líneas -12- de campo magnético que rodean el conductor de carga -11-, en la dirección de las agujas del reloj, como ilustran las flechas en las líneas -12- de campo magnético en el dibujo. Al lado izquierdo del conductor de carga -11-, las líneas -12- de campo magnético se elevan desde el plano del PCB -10- y son concentradas en una región cuyo centro magnético efectivo está designado por -M1-. Al lado derecho del conductor de carga -11-, las líneas -12- de campo magnético descienden hacia el plano del PCB -10- y son concentradas en una región cuyo centro magnético efectivo está designado por -M2-.

15

20

Una corriente alterna (AC) que pasa por el conductor -11- da como resultado una variación senoidal de la intensidad de las líneas -12- de campo magnético en el tiempo. En el caso de un suministro de la red de 50 Hz, cada segundo se producen 100 inversiones de la dirección de las líneas -12- de campo magnético.

25

30

35

La figura 2 es una vista en planta de un transductor -20- substancialmente circular y plano. El transductor plano -20- está descrito previamente en una solicitud PCT internacional publicada N° PCT/GB00/02851. El transductor -20- está formado por pistas conductoras en un circuito impreso y comprende una parte detectora -21- y una parte -22- de supresión. Como se ilustra, la parte -21- de detección es una bobina espiral que comprende cuatro espiras, teniendo cada espira un radio substancialmente  $r_1$ . La parte -22- de supresión es una sola espira de radio  $r_2$ . Los centros magnéticos efectivos de la parte -21- de detección y de la parte -22- de supresión están substancialmente ubicados juntos y se han mostrado en -C1-; -C1- corresponde también a un centro espacial de simetría de las partes -21-, -22-. El radio  $r_2$  de la parte -22- de supresión es substancialmente el doble que el de la parte -21- de detección. De este modo, aun cuando la parte -21- de detección y la parte -22- de supresión tienen diferentes números de espiras y tienen diferentes tamaños, tienen substancialmente iguales productos de área-espiras. Tal igualdad de productos de área-espiras hace que el transductor -20- sea substancialmente inmune a campos magnéticos uniformes porque tales campos uniformes producen, de manera sustancial, señales mutuamente opuestas en las partes -21-, -22-.

40

Los sufijos "I" y "D" se emplean en los dibujos, donde sea apropiado, para distinguir entre semicírculos del lado izquierdo y del lado derecho de la parte -21- de detección y la parte -22- de supresión con respecto al centro -C1-. Los mismos sufijos también son usados, con el mismo significado, en otras partes en esta descripción.

45

Como se muestra en la figura 2, un terminal -23a- está conectado vía una conexión alámbrica -24- (mostrada como una línea de trazos) a la espira más interna de la parte -21- de detección. Después de cuatro espiras en sentido opuesto a las agujas del reloj, la espira más externa de la parte -21- de detección está conectada a la parte -22I- de supresión. Luego de completar una sola espira en el sentido de las agujas del reloj, la parte -22D- de supresión es conectada a un terminal -23b-.

50

55

La parte -21- de detección y la parte -22- de supresión están conectadas eléctricamente entre sí de manera que estén efectivamente arrolladas en direcciones opuestas. Como resultado, cuando el transductor -20- está sujeto a un campo magnético variable en el tiempo y espacialmente uniforme, señales, es decir, fuerzas electromotrices (FEM), producidas en la parte -21- de detección se opondrán a las FEM producidas en la parte -22- de supresión. Además, como los productos de área-espiras de la parte -21- de detección y la parte -22- de supresión son esencialmente los mismos, las FEM inducidas por tales campos magnéticos en la parte -21- de detección se anularán con las FEM inducidas en la parte -22- de supresión. Por lo tanto, el transductor -20- es relativamente inmune a la interferencia desde tales campos magnéticos uniformes.

60

Teniendo en cuenta los centros magnéticos de las partes -21-, -22- que se solapan, el transductor -20- también es substancialmente inmune a la interferencia de campos magnéticos, alternos, variables linealmente en el espacio, los cuales se originan en puntos alejados.

65

Sin embargo, los campos magnéticos alternos localizados no se acoplarán igualmente a la parte -21- de detección y a la parte -22- de supresión. De este modo, un campo magnético local induce una FEM resultante en los terminales -23a-, -23b-. Un campo magnético local es aquel que varía espacialmente de manera no lineal en una escala comparable a las dimensiones del transductor -20-.

La figura 3 es una ilustración de la característica de respuesta espacial -30- del transductor -20- a campos magnéticos locales. El eje de abscisas de la figura 3 corresponde a la posición a lo largo de un eje -XX'- de la figura 2 que se corta en -C1-. El eje de ordenadas corresponde a la amplitud de señal de la señal resultante generada a través de los terminales -23a-, -23b-. También se muestran, para propósitos de referencia, cortes transversales de la parte -21- de detección y la parte -22- de supresión, y el centro -C1-.

El eje de ordenadas de la figura 3 es una ilustración de la característica de respuesta -30- del transductor -20- a un dipolo infinitesimal (no mostrado), cuando el dipolo es llevado radialmente desde el centro -C1- del transductor -20-. De este modo, el eje de abscisas corresponde a una posición radial del dipolo. Además, el dipolo es sustancialmente coplanario con el plano del transductor -20- y está orientado normal al plano del transductor -20-.

Cuando el dipolo magnético es desplazado hacia fuera desde el centro -C1-, la característica -30- aumenta gradualmente y alcanza un valor máximo aproximadamente en la espira más interna de la parte -21- de detección. Más lejos, radialmente hacia fuera, más allá de la espira más interior, la característica disminuye, eventualmente llega a ser negativa aproximadamente en la espira más externa de la parte -21- de detección. Más lejos radialmente hacia fuera, la característica -30- tiene un máximo negativo antes de eventualmente disminuir, pero tiene una inflexión cuando el dipolo se acerca a la espira única de la parte -22- de supresión. Por último, aún más lejos radialmente hacia fuera, la característica -30- disminuye hacia el eje de abscisas y se hace positiva fuera de la parte -22- de supresión.

Será evidente a partir de la figura 3 que un conductor, por ejemplo, una barra bus, ubicado localmente muy cerca de la parte -21- de detección respecto de la parte -22- de supresión, se acopla preferentemente a la parte -21- de detección, y así produce una señal resultante en los terminales -23a-, -23b-.

La figura 4 es una ilustración de bobinas de detección de un sensor de corriente indicado en forma general por el numeral -40- que comprende un primer transductor -42- y un segundo transductor -45- que tienen centros -C1- y -C2- respectivamente. El primer transductor -42- es el mismo que el transductor -20-, mientras que el segundo transductor -45- es similar al transductor -20-, pero está conectado en sentido opuesto.

El primer transductor -42- comprende una parte -43- de detección y una parte -44- de supresión. El segundo transductor -45- incluye una parte -46- de detección y una parte -47- de supresión. El primer transductor -42- y el segundo transductor -45- están conectados en serie a terminales -41a-, -41b-. De este modo, con respecto al plano del sensor de corriente -40-, un campo magnético alterno en dirección ascendente en -C1- inducirá una FEM positiva hacia el terminal -41a- con respecto al terminal -41b-. De manera similar, un campo magnético alterno en dirección descendente en -C2- también inducirá una FEM positiva en el terminal -41a- con respecto al terminal -41b-.

En la figura 3, también se muestra una segunda característica de respuesta -30'- en líneas de trazos. Con respecto a la figura 4, la característica -30- corresponde al primer transductor -42-, mientras que la característica -30'- corresponde al segundo transductor -45-. Las características -30-, -30'- son iguales y opuestas, pero sus centros están desplazados entre sí para asegurar que las características -30-, -30'- se refuercen mutuamente, como será explicado más adelante en lo que sigue.

Mediante una elección adecuada de la separación entre los centros -C1- y -C2-, la región de máxima respuesta positiva en -C1- del primer transductor -42- puede ser dispuesta para corresponder con la región de máxima respuesta positiva del segundo transductor -45- conectado en oposición. Además, se puede hacer que la región de máxima respuesta negativa en -C2- del segundo transductor -45- coincida con la región de máxima respuesta negativa del primer transductor -42-.

El sensor de corriente -40- es preferentemente formado en el PCB -10- y es usado para producir una FEM proporcional a la proporción de cambio de la corriente que pasa por el conductor de carga -11-. El conductor de carga -11- está orientado de manera que es perpendicular a la línea que une -C1- y -C2-. Además, el conductor de carga -11- está óptimamente dimensionado de manera que -M1- y -M2- se alinean con -C1- y -C2- respectivamente. La separación de -C1- y -C2-, y de manera similar -M1- y -M2-, permite que el sensor de corriente -40- tenga una sensibilidad máxima a las líneas -12- de campo magnético producidas por la corriente que pasa por el conductor de carga -11-.

Hay varias regiones -48a-, -48b-, -48c- del sensor de corriente -40- mostrado en la figura 4 en las que las espiras del primer transductor -42- se solapan con las espiras del segundo transductor -45-. El solape requiere aislamiento entre los conductores, y de este modo, aumenta el costo y complejidad del sensor -40-.

Las figuras 5a a 5c son esquemas que ilustran donde dos o más espiras se cruzan, cómo las regiones -48a-, -48b-, -48c- son susceptibles de transformación a disposiciones magnéticamente equivalentes aunque eléctricamente diferentes, en las que los conductores no se cruzan; con lo cual se evita la necesidad de aislamiento entre conductores, y así, se reducen costos.

El principio que subyace a la transformación es que el sensor de corriente -40- puede ser considerado no como bobinas conectadas, sino como una concatenación de muchos elementos de corriente más pequeños. Es importante cómo estos elementos de corriente están interconectados siempre que la ubicación de cada elemento permanezca sin cambios y que la dirección de corriente a lo largo de cada elemento de corriente tampoco cambie.

De este modo, en la figura 5a, la parte -44D- de supresión está designada como un elemento -44Da- y un elemento -44Db-, y la parte -47I- de supresión está designada como un elemento de corriente -47Ia- y como un elemento de corriente -47Ib-. Después de la transformación, hay un nuevo conductor -51- que comprende un elemento de corriente -51a- que corresponde al elemento -44Da-, y un elemento de corriente -51b- que corresponde al elemento -47Ib-. De manera similar, un nuevo conductor -52- comprende elementos de corriente -52a-, -52b- que corresponden a los elementos de corriente -47Ia-, -44Db- respectivamente.

Para que la transformación dé como resultado una configuración magnéticamente equivalente, una región -56-, es decir una región donde los conductores -44D- y -47I- antes se cruzaron, debe ser pequeña comparada con el resto del sensor de corriente -40-.

Una manera alternativa de prever la equivalencia magnética es generar un campo magnético haciendo pasar corriente por el sensor de corriente -40-. Si la región -56- es suficientemente pequeña, una distribución de campo magnético generada por una versión transformada del sensor de corriente -40- será idéntica a una distribución de campo magnético generada por una corriente que pasa por el sensor de corriente -40- antes de la transformación.

Consideraciones similares corresponden a las transformaciones ilustradas en las figuras 5b y 5c.

La figura 6 es una ilustración de un sensor de corriente indicado de forma general por el numeral -60-. En el sensor de corriente -60-, la conectividad de las regiones de solape ha sido transformada, en comparación con el transductor -40-, para evitar que los arrollamientos se crucen unos con otros. El sensor de corriente -60- comprende un primer transductor -62- y un segundo transductor -65- centrados en los centros -C1- y -C2- respectivamente. Además, los transductores -62-, -65- están conectados a terminales -61a-, -61b- respectivamente. En el sensor de corriente -60-, hay tres regiones -68a-, -68b-, -68c- que corresponden a las regiones -48a-, -48b-, -48c- del transductor -40- respectivamente. El sensor de corriente -60- comprende una pluralidad de partes de bobinas conectadas, las cuales están conectadas a los terminales -61a-, -61b-. Se muestra una línea -YY'- que corta los centros -C1-, -C2-. Además, sin tener en cuenta las conexiones desde los terminales -61- al primer transductor -62- y el segundo transductor -65-, el transductor -60- es simétrico con respecto de la línea -YY'-.

A lo largo de la línea -YY'- desde -Y- a -Y'-, el sensor -60- comprende en secuencia una bobina -64I-, un grupo de elementos -63I-, un elemento -67I-, el centro -C1-, un grupo de elementos -66I-, un grupo de elementos -63D-, el segundo centro -C2-, un elemento único -64D-, un grupo de elementos -66D- y finalmente un elemento -67D-. Se ha usado nomenclatura similar para designar bobinas que corresponden a partes de bobinas de la figura 4.

El sensor de corriente -60- es ventajoso en comparación con el sensor de corriente -40- en el sentido de que se requieren menos cruces entre conductores. Por ejemplo, si el sensor de corriente -60- está incorporado en un PCB, menos cruces significa que se requieren menos vías en el PCB. Comercialmente, es deseable reducir el número de vías en un PCB ya que se debe hacer una perforación para cada vía y luego cada perforación debe ser dotada de recubrimiento para obtener conducción a través de sus correspondientes vías. Reducir el número de vías reduce el costo de un PCB y también aumenta la fiabilidad del PCB.

Haciendo referencia a continuación a la figura 7, en ella se muestra un sensor de corriente alargado indicado de forma general con el numeral -70-. El sensor -70- comprende dos terminales -71a-, -71b-, una región alargada -72- de elementos de corriente lineal -78-, y dos regiones -73a-, -73b- que interconectan los elementos de corriente -78- de la región -72-. La región alargada -72- comprende una región central -75- de catorce elementos de corriente -78-, que está flanqueada por dos regiones -76a-, -76b- que incluyen, cada una, once elementos de corriente -78-. Las regiones que flanquean, -76a-, -76b- están, a su vez, rodeadas por dos regiones exteriores -77a-, -77b- que incluyen, cada una, cuatro elementos de corriente -78-. En la figura 7 también se incluyen dos ejes -C1'- y -C2'- que corresponden a los centros -C1- y -C2- respectivamente del sensor de corriente -60-.

Las regiones extremas -73a-, -73b- están dispuestas de modo que no se generan una FEM resultante en respuesta a campos magnéticos alternos espacialmente uniformes o variables de forma lineal.

Aunque la relación entre los elementos de corriente -78- del sensor de corriente -70- y las bobinas del sensor de corriente -60- se ve ocultada por una transformación de circular a alargada, se apreciará que:

- (a) la bobina -64I- corresponde a la región externa -77a-, una combinación de características -63I- y -67I- a -76a-, una combinación de características -66I- y -63D- a -75-, una combinación de características -64D- y -66D- a -76b-; y
- (b) la bobina -67D- corresponde a la región externa -77b-.

El sensor de corriente -70- es ventajoso en el sentido de que se puede aumentar su sensibilidad simplemente aumentando la longitud de su región alargada -72-. De este modo, el sensor de corriente -70- puede ser diseñado para conseguir un rango de sensibilidades de medición variando solamente su longitud.

5 En la práctica, el sensor -70- puede ser fabricado en una gama de tamaños desde micrometros a metros. Por ejemplo, puede fabricarse sobre un sustrato de silicio por procesos de microfabricación de modo que el sensor -70- tiene una dimensión en el sentido de su longitud del orden de 2  $\mu\text{m}$  y un ancho del orden de 1  $\mu\text{m}$ . Esta versión microfabricada del sensor -70- es adecuada para cabezales de detección magnética, por ejemplo en dispositivos de memoria de disco magnético para ordenadores, o para incorporación en dispositivos de semiconductores de potencia diseñados para conmutar corrientes alternas, con objetivos de supervisión y conmutación de protección.

10 Como alternativa, el sensor -70- puede fabricarse sobre vidrio o sustrato cerámico para proporcionarle una estabilidad estructural mejorada, para aplicaciones que requieren un factor de escala de medición muy estable y un coeficiente de temperatura de factor de escala de medición reducido.

15 Alternativamente, para propósitos de medición con contadores de electricidad, el transductor -70- preferentemente tiene una dimensión en el sentido de la longitud alargada en un rango de 20 a 40 mm y una anchura en un rango de 10 mm a 20 mm.

20 La interconexión de los elementos de corriente -78- es tal que si la corriente fuera forzada a pasar por el sensor de corriente -70- vía el terminal -71b-, entonces la corriente pasaría en un sentido ascendente a lo largo de los elementos de corriente -78- de la región central -75-, en un sentido descendente en los elementos de corriente -78- de las regiones de los lados -76a-, -76b- y en un sentido ascendente en los elementos de corriente -78- de las regiones exteriores -77a-, -77b-. De este modo, el número total de elementos de corriente dirigida en sentido ascendente -78- iguala al número total de elementos de corriente dirigida en sentido descendente -78-, con lo cual se asegura que el sensor de corriente -70- exhiba sustancialmente respuesta neta cero a campos magnéticos uniformes o espacialmente variables de forma lineal. La presencia de un número igual de elementos de corriente con dirección ascendente y dirección descendente -78- es análoga a la figura 2, donde el producto área-espiras de la parte -21- de detección en el sentido de las agujas del reloj es igual y opuesto al de la parte -22- de supresión en el sentido contrario a las agujas del reloj.

25 El sensor de corriente -70- responderá a campos magnéticos alternos temporalmente aplicados a lo largo del eje -C1'- o -C2'- que son normales respecto del plano del sensor de corriente -70-. Siempre que los campos alternos que pasan a través de -C1'- y -C2'- sean de signo opuesto, las FEM inducidas por los campos alternos en los elementos de corriente -78- se reforzarán mutuamente para producir una FEM resultante en los terminales -71-. Si los campos magnéticos alternos en -C1'- y -C2'- están en una dirección similar, pero son de diferentes intensidades, se producirá una FEM resultante en los terminales -71- proporcional a la diferencia entre los campos magnéticos.

30 De manera similar a lo que ocurre con el transductor -20- y el sensor de corriente -40-, -60-, se produce una FEM sustancialmente cero en los terminales -71- del sensor de corriente -70- en respuesta a:

- (a) un campo magnético temporalmente variable y espacialmente uniforme; o
- (b) un campo magnético temporalmente variable espacialmente variable de forma lineal, dirigido ortogonalmente a través del sensor de corriente -70-.

35 Los campos magnéticos que son oblicuos al plano del sensor de corriente -70- pueden ser descompuestos en componentes en el plano y componentes normales al plano. Los componentes de campo magnético alterno en el plano no producen ninguna FEM y pueden ser ignorados.

40 El sensor de corriente -70- puede ser combinado con el conductor de carga -11- de la figura 1 para formar un sensor de corriente compuesto. En este sensor compuesto, el conductor de carga -11- es preferentemente alargado, de modo que su campo magnético está concentrado a lo largo de los ejes -M1'- y -M2'-, donde los ejes -M1'-, -M2'- corresponden a las regiones -M1-, -M2- de la figura 1 respectivamente. Para sensibilidad máxima, los ejes -M1'- y -C1'-, y -M2'- y -C2'-, deberían coincidir respectivamente.

45 Por ejemplo, el sensor -70- para contador de electricidad, tiene preferentemente una dimensión en el sentido de la longitud alargada de 30 mm, y una anchura lateral de 22 mm. El conductor de carga -11- también tiene preferentemente una anchura lateral de 5 mm para solaparse, cuando es observado en una vista en planta, sustancialmente con la región central -75- en la figura 7. Más preferentemente, el conductor -11- está integrado con un circuito impreso (PCB), dado que ello da considerablemente más sensibilidad al sensor -70-, en comparación con el conductor -11- en una configuración separada. Lo más preferente, el conductor -11- está implementado como una pista en un PCB que incluye el transductor -70-; teniendo la pista soldada en la misma una barra de cobre que tiene una anchura de sustancialmente 5 mm y un grosor de sustancialmente 2 mm.

50 Cuando se implementa en un PCB, el sensor -70- es potencialmente susceptible de acoplamiento capacitivo de alta frecuencia desde el conductor -11- a los elementos de corriente -78-. En sistemas de suministro de la red, no es

poco común que los componentes de señal de alta frecuencia sean introducidos en el suministro de la red desde equipos tales como hornos de inducción de radiofrecuencia (RF), controladores de motores de alta potencia modulados por ancho de pulso (PWM) y fuentes de potencia con modalidad de conmutación. Los componentes de señal de alta frecuencia pueden tener lugar en un rango de frecuencia desde varios kHz a varios MHz. Para prevenir que esa alta frecuencia se acople en el sensor -70-, es altamente preferible que se inserte una pantalla electroestática entre el conductor -11- y los elementos de corriente -78-. La pantalla es, preferentemente, una capa conductora oculta de un PCB sobre el cual se forma el sensor -70-. Además, la pantalla, preferentemente, tiene un grosor en un rango de 10 µm a 50 µm. En funcionamiento, la pantalla está preferentemente conectada a una toma de tierra análoga, a la cual también están referidas señales de procesamiento de circuitos electrónicos desde el sensor -70-.

En la figura 8, se muestra la relación entre los elementos de corriente -78- del sensor de corriente -70- y las partes del primer transductor -42- y del segundo transductor -45-. La relación es explicada adicionalmente en la Tabla 1, en la que la columna del lado izquierdo corresponde a los elementos de corriente -78- del sensor de corriente -70- y el lado derecho corresponde a características equivalentes de los transductores -42-, -45-. Por ejemplo, la región central de la figura 8, designada con el numeral -72-, corresponde a la región alargada -72- de la figura 7.

Tabla 1:

Sensor de corriente -70-	Transductores -42-, -45-
Región central -72- (figura 8)	Región alargada -72- (figura 7)
Los cuatro elementos de corriente -78- de la región exterior -77a-	La parte -44I-
Los siete elementos de corriente exteriores -78- de la región de la zona lateral -76a-	La parte -43I-
Los cuatro elementos de corriente interiores -78- de la región de la zona lateral -76a-	La parte -47I-
Los siete elementos de corriente -78- de la izquierda de la región central -75-	La parte -46I-
Los siete elementos de corriente -78- de la derecha de la región central -75-	La parte -43D-
Los cuatro elementos de corriente interiores -78- de la región de la zona lateral -76b-	La parte -44D-
Los siete elementos de corriente exteriores -78- de la región de la zona lateral -76b-	La parte -46D-
Los cuatro elementos de corriente -78- de la región exterior -77b-	La parte -47D-

En la figura 8, se muestran por encima de la región -72-, y colectivamente designados por -42-, los elementos de corriente que corresponden al primer transductor -42-. Además, bajo la región -72- en la figura 8, y designados por -45-, se muestran los elementos de corriente que corresponden al segundo transductor -45-. También en la figura 8 se muestran posiciones efectivas de los centros -C1- y -C2-. El centro -C1- está situado en el eje -C1', mientras que el centro -C2- se encuentra en el eje -C2'.

El sensor de corriente -70- es particularmente adecuado para usar como parte componente de un contador de electricidad de kilowatt-hora (kWh). Estos contadores pueden ser configurados en una variedad de diferentes configuraciones según el número de fases de electricidad que se supervisen. Además, las configuraciones de los contadores de electricidad tienden a variar de un país a otro según la práctica establecida.

Por ejemplo, en el libro *"Handbook of Electricity Metering"* (Manual para medición de electricidad) (novena edición) del Instituto Eléctrico Edison, ISSN 0-931032-30-X, se describen configuraciones de contador de electricidad tipo 2S y 12S.

Con referencia a la figura 9, la configuración 2S está indicada de forma general por -80- y comprende el primer y el segundo sensores de corriente -81-, -82- y un sensor de voltaje -83-. En un sistema de suministro de electricidad de tres fases que incluye las fases A, B, C, se establece la práctica de conectar dos de las fases, por ejemplo las fases A, C, a través de los sensores de corriente -81-, -82- a una carga -84-, y de supervisar un voltaje -V<sub>L</sub>-desarrollado a través de la carga -84- usando el sensor de voltaje -83- como se ilustra. También se dispone una conexión neutra -85- desde el sistema de suministro. El lector experto en la materia apreciará que hay una diferencia de fase de 120° entre los ciclos senoidales de las fases A, C.

La potencia P consumida por la carga -84- se calcula sobre la base de la Ecuación 1 (Ec.1):

$$P = \frac{1}{2} V_L (I_1 + I_2) \quad \text{Ec.1}$$

en la que -I<sub>1</sub>-, -I<sub>2</sub>- son flujos de corriente supervisados por los sensores de corriente -81-, -82- respectivamente.

De la figura 9, se apreciará que las corrientes -I<sub>1</sub>- e -I<sub>2</sub>- no son iguales en el caso en que la carga -84- esté desequilibrada, lo cual provoca que la corriente pase hacia la conexión neutra -85-.

En una configuración de tipo 12S indicada en forma general por -86- en la figura 9, están los dos sensores de corriente -81-, -82- y dos sensores de voltaje -87-, -88-. Además hay dos cargas -89a-, -89b-, conectadas a la conexión neutra -85-.

La potencia total P consumida por las cargas -89a-, -89b- es calculada sobre la base de la Ecuación 2 (Ec. 2) asumiendo cargas resistivas:

$$5 \quad P = V_{L1} I_1 + V_{L2} I_2 \quad \text{Ec.2}$$

10 El sensor de corriente -70- puede emplearse en las configuraciones 2S y 12S para proporcionar medición de corriente en las mismas. El sensor -70- es especialmente apropiado para uso en la configuración 2S -80- porque la Ecuación 1 indica que se requiere un promedio de las corrientes  $-I_1-$  e  $-I_2-$  para calcular la potencia. Al incluir conductores de corriente de carga en las caras principales delantera y trasera del transductor -70-, el transductor -70- es así configurable para proporcionar una indicación de la corriente promedio correspondiente a  $(I_1 + I_2) / 2$ , de este modo se evita la necesidad de usar dos de los sensores de corriente -70-.

15 El sensor -70- también puede usarse en configuraciones de contador que proporcionen la medición con contador de electricidad de tres fases. Por ejemplo, la figura 10a es una ilustración de la disposición física de un contador de tres fases indicado en forma general por -90-. El contador -90- comprende un PCB -91- en el cual están instaladas tres barras bus -92a-, -92b-, -92c-, estando prevista una barra bus para cada fase de suministro correspondiente. Cada barra bus -92- comprende una región de conector de entrada -93-, una región de conductor de carga -94- y una región de conector de salida -95-. Las barras bus -92- están hechas de cobre para reducir el calentamiento óhmico que se produce en las mismas en respuesta a la corriente de carga que pasa por ellas. La región de conductor -94- tiene, preferentemente, sustancialmente 32 mm de largo, 5 mm de ancho y 2 mm de grosor. Además, las barras bus -92- están preferentemente soldadas a pistas de cobre dispuestas en el PCB -91-, teniendo dichas pistas de cobre un perfil de superficie similar al presentado por las barras bus -92- cuando se conectan al PCB -91-. Como se muestra, las barras bus -92- se solapan con la región central -75- de sus respectivos sensores -70- para proporcionar una sensibilidad óptima a los sensores -70-.

20 El PCB -91- preferentemente está dotado de una pantalla electroestática entre las barras bus -92- y los elementos de corriente -78- de los sensores -70- incluidos dentro del PCB -91- para evitar la transmisión capacitiva de componentes de alta frecuencia.

30 Haciendo referencia a continuación a la figura 10b, en ella se muestra una vista del plano del PCB -91- del contador -90-. Para mayor claridad, las barras bus -92a- y -92c- no se muestran, mientras que el contorno de la barra-bus -92b- se muestra usando líneas de trazos. En el PCB -91-, hay tres sensores de corriente -70'a-, -70'b-, -70'c-, un sensor de corriente para cada región de conductor de carga -94- de las tres barras bus -92- respectivamente. Cada uno de los sensores -70'- es similar al sensor -70-, pero tienen una magnitud en el sentido de la longitud alargada del orden de 40 mm y una anchura de sustancialmente 20 mm. La región del conductor de carga -93b- está ilustrada cubriendo la región central del sensor -70'b-. La combinación del conductor de carga -93b- y el sensor lineal -70'b- da como resultado un sensor de corriente que produce una FEM proporcional a la corriente que pasa a través del conductor de carga -93b-. Cada sensor de corriente -70'a-, -70'b-, -70'c- está conectado vía un par de pistas del PCB -96a-, -96b-, -96c- respectivamente a circuitos acondicionadores de señal dedicada -97a-, -97b-, -97c- respectivamente. Preferentemente, las pistas -96- están hechas tan cortos y cercanos entre sí como sea posible para reducir la captación de interferencia electromagnética dispersa. En funcionamiento, los sensores -70- exhiben una sensibilidad de medición del orden de 40  $\mu\text{m/amp}$  de corriente de barra bus, en consecuencia, la interferencia electromagnética dispersa es un asunto práctico.

45 Los circuitos acondicionadores de señal -97- sirven para amplificar las señales de FEM producidas por los sensores de corriente -70'- y luego, procesar digitalmente las señales de FEM amplificadas usando un dispositivo procesador de señal es tipo AD7759 fabricado por Analog Devices Inc., una empresa ubicada en EE.UU.

50 El dispositivo procesador de cada uno de los circuitos acondicionadores -97- puede funcionar para hacer digitales y luego integrar las señales de FEM amplificadas para generar una medición de corriente acumulativa, y luego multiplicar digitalmente la medición de corriente acumulativa por una medición de voltaje para obtener una medición de potencia acumulativa consumida.

55 Los circuitos procesadores de señal -98- pueden funcionar para interrogar en secuencia a cada uno de los circuitos acondicionadores -97-, y recibir desde allí en formato de palabras de datos, la medición acumulativa de potencia desde cada fase. De este modo, los circuitos procesadores de señal -98- integran la potencia instantánea, con respecto al tiempo, para que las tres fases determinen la energía total suministrada a través del contador -90-. El contador -90- puede funcionar para indicar una lectura de energía en un visualizador -99- del contador -90-. El visualizador -99- permite a una empresa de servicio público cobrar a un cliente al que se le ha proporcionado energía, mediante el contador, de acuerdo a la energía eléctrica usada por ese cliente.

60 Además de los tres conductores de potencia de un suministro de red de tres fases, hay un conductor "neutro" (no mostrado) a lo largo del cual, idealmente, debería pasar sustancialmente cero corriente cuando el contador -90- está en uso.

65

El contador de electricidad -90- puede funcionar para medir la corriente que pasa en cada una de las tres fases asociadas con él y, por lo tanto, puede determinar si un cliente está o no extrayendo energía desde el suministro de tres fases en un modo equilibrado, así como también, la potencia total consumida desde las tres fases.

5 Mediante el teorema de Blondel, por ejemplo, como se describe en la página 140 del libro antes mencionado, no es necesario incluir tres sensores de corriente -70'a-, -70'b-, -70'c- para ser capaz de medir la potencia en un sistema de tres fases. De este modo, un contador de tres fases puede ser implementado omitiendo uno de los sensores, por ejemplo el sensor -70'b-, desde el contador -90-, y usando el procesador de datos -98- para ejecutar la solución de una ecuación simultánea para deducir la tercera corriente que habría sido detectada, por ejemplo por el sensor  
10 -70'b-. Tal disposición es ventajosa en el sentido de que se puede hacer que el contador -90- sea más compacto ya que sólo se requieren dos sensores de corriente -70-, y se puede efectuar el procesamiento de datos de manera relativamente fácil en el procesador de datos -98- para deducir la corriente de tercera fase. Por lo tanto, la disposición es susceptible de ser fabricada de una forma más económica, y de ser hecha más compacta. Haciendo referencia a continuación a la figura 11, se muestra un contador de electricidad indicado en forma general por -200- de acuerdo con la configuración 2S antedicha -80-. El contador -200- está implementado en un formato adecuado para uso en EE.UU. El contador -200- comprende una base -210- en la cual está fijado con una pinza un submontaje -220- de PCB de sensor. El contador -200- además incluye un submontaje -230- de PCB de visualizador que está fijado con una pinza en una estructura de soporte de la base -210-. Además, el contador -200- comprende un cable de cinta -240- que tiene un primer extremo y un segundo extremo. El primer extremo está conectado al submontaje del visualizador -230- y el segundo extremo está conectado al submontaje del sensor -220-. Una cubierta accesoria (no mostrada) también es incluida como un componente del contador -200- y está fijada con una pinza a la base -210-, la cubierta accesoria proporciona protección para los submontajes de PCB -220-, -230-. Además, una cubierta transparente (no mostrada) también es incluida como un componente del contador -200- y está diseñada para acoplarse a la base -210-, proporcionando en combinación con la base -210- protección ambiental a las partes  
25 englobadas dentro del contador -200-.

El submontaje de PCB del sensor -220- está dotado de dos sensores de corriente -70-. Además, el contador -200- incluye dos conductores de carga -250-, -260-, es decir fases A y C respectivamente, para llevar corriente facilitada hacia y de retorno desde una carga conectada al contador -200-.

30 Aunque se muestran dos sensores -70- en la figura 11, es factible simplificar el submontaje de sensor -220- para incluir sólo un sensor -70- con los conductores de carga -250-, -260- configurados por encima y por debajo del sensor -70- como se ilustra en figura 12a. De tal modo, el sensor -70- en la figura 12a es capaz de medir corriente promedio, como se requiere para el cálculo de potencia según la Ecuación 1 en lo antedicho con respecto a la configuración de contador 2S -80-. Esta disposición simplifica el contador -200- y, por tanto, es capaz de reducir su costo de fabricación.

40 Cuando se requiere que un contador 2S se adapte a disposiciones existentes de contadores, los conductores de carga -250-, -260- ilustrados en la figura 12a son modificados a la forma que se ilustra en figura 12b, donde el suministro de la red es introducido en un primer lado izquierdo relativo al submontaje -220- y la salida a la carga es la salida a un segundo lado derecho del montaje -220-. El perfil del conductor de carga en la figura 12b asegura que los flujos de corriente por encima y por debajo del sensor -70- en el montaje -220- están en direcciones similares.

45 El submontaje de PCB del sensor -220- comprende elementos funcionales principales ilustrados en la figura 13. Los dos sensores de corriente -70- del submontaje -220- están fabricados en el PCB del submontaje -220- como modelos de pistas conductoras. Se incluyen una o más pantallas electroestáticas en el submontaje -220- entre los conductores de carga -250-, -260- y los elementos de corriente -78- de los sensores -70- para reducir el acoplamiento de señal capacitivo de alta frecuencia; tales pantallas pueden ser incorporadas como capas de PCB conductoras ocultas en el circuito impreso del submontaje -220- de sensor. Además, el submontaje -220- también comprende filtros pasa bajo *antialiasing* -300- cada uno de los cuales incluye dos polos de filtro RC como se ilustra en la figura 14; los componentes -C7-, -C8-, -C10-, -C11-, -R7- a -R10- en la figura 14 proporcionan ese filtro de señal.

55 El submontaje -220- en la figura 13 también incluye un divisor de voltaje resistivo -310- para reducir el potencial de suministro a una magnitud que pueda ser aceptada por dispositivos electrónicos incluidos dentro del montaje -220-; el divisor -310- se implementa con los componentes -R1-, -R2-, -R4- y -R5- en la figura 14 y también incluye condensadores -C2-, -C15- para formar un filtro de pasa bajo de dos polos, con el fin de eliminar componentes de señal de alta frecuencia. Además, el montaje -220- comprende un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) de señal mixta -320- que puede funcionar para calcular la energía medida. Una memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente (EEPROM) -330- está también incluida en el submontaje -220- para proporcionar datos de calibración y la energía de contador acumulada total. Finalmente, el submontaje -220- comprende una unidad de suministro de potencia (PSU) -340- que puede funcionar para proporcionar una corriente continua (DC) desde el suministro de electricidad medida con contador, para alimentar dispositivos electrónicos incluidos dentro del submontaje, por ejemplo el ASIC -320-.

65

El ASIC -320- comprende un convertidor analógico-digital (ADC) de corriente -400-, un ADC de voltaje -410-, un integrador digital -420-, un multiplicador digital -430- y un registrador de acumulación de energía -440-. El ASIC -320- incluye registradores y otros circuitos integrados funcionales para ajustar la ganancia de señal, la compensación de potencia y la variación de fase de canal de voltaje a corriente. El ASIC -320- es similar al componente AD7756  
5 fabricado por Analog Devices Inc., una empresa ubicada en EE.UU. Sin embargo, este componente AD7756 no incorpora una función de integración digital tal como proporciona el registrador de acumulación de energía -440-.

El ASIC -320- adicionalmente comprende una referencia de voltaje (no mostrada) para proporcionar una norma de referencia primaria para medición absoluta de corriente y voltaje aplicados al contador -200-. Un resonador de cristal de cuarzo (no mostrado) es conectado a un oscilador que forma parte del ASIC -320- para proporcionar una referencia primaria para el tiempo, cuando se realice un cálculo de energía en el contador -200-.  
10

A continuación se describirá brevemente la interconexión dentro del contador -200-.

Los conductores de carga -250-, -260- proporcionan una línea para la corriente de suministro de carga a través del contador -200-. Los sensores de corriente -70- están instalados lo suficientemente cerca de los conductores -250-, -260- de manera que la corriente que pasa a través de los conductores -250-, -260- es capaz de generar un campo magnético local en los sensores -70-. Los sensores -70- están, a su vez, conectados a entradas de los filtros *anti-aliasing* -300-. Una salida de los filtros -300- está acoplada a una entrada análoga del ADC -400-. Dentro del ASIC -320-, una salida digital desde el ADC -400- está acoplada a una entrada digital del integrador digital -420-. El divisor -310- está conectado a través del suministro principal al contador -200- y está referido a una toma de tierra análoga. Una toma de punto medio del divisor -310- está acoplada a una entrada análoga del ADC -410-. Una salida digital del integrador -420- y una salida digital del ADC -410- están conectadas dentro del ASIC -320- a las entradas digitales primera y segunda del multiplicador digital -430- respectivamente. Una salida digital desde el multiplicador -430- está acoplada vía una estructura de datos del ASIC -320- a una entrada digital del registrador de acumulación -440-. Un bus de salida digital del registrador -440- está acoplado hacia fuera a la EEPROM -330- y al submontaje de visualizador -230- vía el cable de cinta -240-.  
15  
20  
25

El contador -200- es susceptible, usando interfaces apropiadas, de ser conectado a otros dispositivos, por ejemplo a Internet, para permitir lectura remota automática del registrador -440- del contador -200- y, de este modo, de la energía consumida. Así, los equipos de lectura automatizados (AMR) pueden ser conectados al contador -200-.  
30

Los conductores de carga -250-, -260- están mecánicamente asegurados al PCB del submontaje -220- del sensor, como se muestra.  
35

A continuación se describirá de manera general el funcionamiento del contador -200-.

Las corrientes  $I_{in}$  del suministro principal pasan a través de los conductores de carga -250-, -260- del contador -200- y generan correspondientes campos magnéticos locales. Los sensores de corriente -70- detectan los campos magnéticos y generan señales resultantes indicadoras de las corrientes  $-I_{in}$ . Estas señales resultantes pasan a los filtros -300- donde componentes de alta frecuencia presentes en las señales son atenuados a una magnitud en que no pueden causar mediciones erróneas dentro del contador -200-. Luego las señales resultantes filtradas se propagan al ADC -400- donde son convertidas en correspondientes datos de corriente. Los datos de corriente son transportados al integrador -420- que integra los datos para proporcionar una medición de la carga eléctrica total consumida por una carga conectada al contador -200-.  
40  
45

El suministro de la red también es aplicado al divisor -310- que genera una señal de voltaje atenuado que pasa al ADC -410-. El ADC -410- convierte la señal de voltaje a datos de voltaje que son información de salida desde el ADC -410- al multiplicador -430-. La salida digital del integrador -420- también es aplicada al multiplicador -430-. El multiplicador -430- multiplica datos de carga y voltaje que le son proporcionados para calcular una medición de la energía consumida por la carga conectada al contador -200-. La medición de energía consumida es transportada al registrador -440- que suma la medición de modo que se almacena en él un registro de energía total consumida. El registro proporciona una indicación en un período de tiempo, por ejemplo 3 meses, lo cual se requiere para propósitos de facturación.  
50  
55

La EEPROM -330- ha almacenado en la misma constantes de calibración que son facilitadas desde la EEPROM -330- al ASIC -320- para calibrar el contador y, así asegurar que proporcione información precisa de la energía consumida. La EEPROM -330- también se usa para almacenar datos sobre la energía consumida de modo que los datos generados dentro del contador -200- no se pierdan cuando la potencia se interrumpa momentáneamente.  
60

El submontaje -230- de PCB de visualizador comprende un microcontrolador y un dispositivo visualizador de cristal líquido (LCD) para conseguir una unidad visual de la potencia acumulativa proporcionada a través del contador -200-. El microcontrolador puede funcionar para desplazar constantes de calibración ajustadas de fábrica, almacenadas en la EEPROM -330-, hacia registradores de control del ASIC -320-, y también para actualizar una medición de energía acumulada usada que es almacenada por el microcontrolador en la EEPROM -330- usando datos calculados en el ASIC -320-. Además, el microcontrolador puede funcionar para comunicar la medición de  
65

energía consumida al dispositivo LCD o a dispositivos externos al contador -200-, por ejemplo a un módem de Internet.

5 El ASIC -320- también puede funcionar para facilitar una salida de impulso indicadora de cada kWh que ha sido medido por el contador -200-. Esta salida de impulsos puede funcionar para llevar un diodo emisor de luz (LED) al submontaje de visualizador -230-, para facilitar una salida óptica al usuario del contador -200-.

10 De este modo, el submontaje -220- de PCB del sensor forma un contador de energía calibrada completo. Aunque requiere la funcionalidad de un dispositivo externo, por ejemplo el submontaje -230- de visualizador, para desplazar constantes de calibración y tener acceso a datos de energía acumulada, toda la información requerida es almacenada en el submontaje -220- del sensor para permitir que funcione como un contador de electricidad. Empleando dos submontajes -220-, -230-, es posible cambiar el submontaje -230- de visualizador por otros PCB similares sin requerir recalibrar el contador. En consecuencia, el submontaje -220- de PCB de sensor puede ser empleado como un elemento funcional de contador de energía calibrado.

15 Durante la fabricación, el submontaje -220- de sensor es calibrado usando una unidad de calibración con respecto a una norma de calibrado absoluto. De este modo, un método para calibrar el submontaje -220- comprende las siguientes etapas:

- 20 (a) aplicar el voltaje de suministro  $-V_{in}$  con sustancialmente cero corriente extraída desde el contador, y luego calcular una potencia de compensación cero para asegurar la precisión de potencia cero del contador;
- (b) extraer una corriente funcional conocida desde el contador a una carga y calcular una constante de calibración de ganancia para asegurar un factor de escala de potencia preciso; y
- 25 (c) aplicar una señal de corriente que es sustancialmente reactiva, por ejemplo con  $89^\circ$  grados entre vectores de voltaje y corriente, y luego calcular una constante de calibración de fase.

A continuación, en la EEPROM -330- se almacenan la antedicha potencia de compensación cero, el factor de escala de potencia y la constante de calibración de fase.

30 Durante el método de calibración descrito en lo anterior, otros datos tales como número de serie y parámetros de configuración, preferentemente, son almacenados en la EPROM -330- para identificar únicamente el submontaje -220- de sensor. Si se desea, el número de serie puede ser encriptado, por ejemplo, usando encriptación de clave pública-privada para prevenir que se fabriquen contadores falsificados. Otro de los parámetros también puede ser encriptado si se requiere, para aumentar la seguridad.

35 Las bobinas del sensor presentes en el sensor de corriente del submontaje -220- de sensor pueden ser diseñadas para exhibir sustancialmente respuesta cero a los gradientes de campo que surgen de orígenes alejados desde el contador -200-. Los campos magnéticos alejados son potencialmente susceptibles de acoplarse a pequeñas áreas de dipolos del contador de corriente -200-, en particular a circuitos electrónicos en el contador -200-. En el contador -200-, estas pequeñas áreas de dipolo causadas por los modelos de conductor de PCB pueden ser calculadas, y se pueden incorporar momentos de dipolo opuestos compensatorios a las disposiciones de pistas de conductor para reducir su importancia.

45 Con referencia a las figuras 14 y 15, se muestran esquemas de circuito que pertenecen a una versión funcional del contador -200-.

En la figura 14, se muestra un esquema de circuito del submontaje -220- de PCB de sensor. El circuito comprende el primer y el segundo conductor de corriente de carga -250-, -260-, que están mutuamente conectados vía un dispositivo de absorción de ondas -VR1-. Con mucha proximidad a los conductores -250-, -260- están instalados el primer y el segundo sensores de corriente -620-, -630- respectivamente; los sensores -620-, -630- son, cada uno, similares en diseño al antes mencionado sensor de corriente -70-. El primer y el segundo sensores de corriente -620-, -630- están dispuestos para acoplarse a los campos locales generados por el primer y el segundo conductores de corriente -600-, -610- respectivamente. Los sensores -620-, -630- están conectados al primer y al segundo filtros *anti-aliasing* -640-, -650- respectivamente representados por -300- en la figura 13. El primer filtro *anti-aliasing* -640- comprende resistencias -R8-, -R10- y condensadores -C8-, -C10-, -C14- conectados entre sí como se muestra. Asimismo, el segundo filtro *anti-aliasing* -650- comprende resistencias -R7-, -R9- y condensadores -C7-, -C11-, -C13- conectados entre sí como se muestra. El divisor -310- es implementado como una disposición en serie de resistencias -R1-, -R2-, -R4-, -R5- con condensadores asociados -C2-, -C15- para proporcionar filtración de señal de alta frecuencia; estos componentes están interconectados como se ilustra. El ASIC -320- es mostrado implementado como un aparato de fabricante AD7759 (U1) -320- que tiene asociados a él una referencia de voltaje de precisión que comprende -U4-, -C1-, -C6-, -R14-, y un oscilador de reloj implementado por cristal de cuarzo -X1- y condensadores asociados -C22-, -C27- configurados como un oscilador Colpitts. El cristal -X1- está fabricado para resonar inductivamente en una frecuencia de 3,5795 MHz. La unidad de fuente de potencia (PSU) -340- está implementada en modalidad sin transformador y comprende un condensador -C12- a través del cual una mayoría del voltaje de suministro principal es reactivamente descargado. La PSU -340- comprende además una serie de componentes de regulación, rectificado y filtrado que incluyen -R25-, -C21-, -R26-, -D1-, -D2-, -D3-, -C3-, -C17- los

cuales proporcionan una diferencia de potencial de corriente continua del orden de 10 a 18 voltios a un regulador de voltaje de semiconductor (U3) 78L05. El regulador de voltaje puede funcionar para facilitar una salida de 5 voltios suavizada por un condensador -C23- para proporcionar potencia al ASIC -320-.

5 En la figura 15, se muestra un esquema de circuito del submontaje de PCB de visualizador -230- que comprende un microcontrolador PIV16C923 y un visualizador de cristal líquido LCD100.

10 El submontaje -220- de PCB de sensor ilustrado en la figura 14, y el submontaje -230- de PCB de visualizador ilustrado en la figura 15 son capaces de funcionar juntos en combinación con el sensor -70- para proporcionar un contador de electricidad de tipo 2S digital, robusto y efectivo en cuanto a coste, con lectura mediante LCD.

15 La sensibilidad del sensor -70- puede ser aumentada implementándolo como una pila de dichos sensores superpuestos entre sí. Tal estructura de pila puede ser convenientemente fabricada usando tecnología de circuito impreso de capas múltiples con los sensores individuales -70- conectados en serie de modo que sus señales de FEM se sumen. Sin embargo, esta estructura de pila puede ser sensible a campos magnéticos uniformes, por ejemplo desde fuentes alejadas, que inciden paralelos al plano del sensor -70-. Con el fin de reducir el efecto de campos magnéticos alejados en dicha pila, elementos de corriente -78- de las zonas superpuestas del sensor -70- pueden ser enrutados a capas de PCB alternas de manera de reducir la sensibilidad de la pila a campos uniformes. Desafortunadamente, ese enrutado requiere la inclusión de vías en la pila. Además, tales vías se incluyen preferiblemente en áreas alejadas de la región -94- del conductor de carga, de manera que no interfieran con la detección de campo magnético que ocurre en el transductor -70- en esta región.

20 El sensor de corriente -70- es adecuado para uso en medición de campos magnéticos alternos en otras aplicaciones. Por ejemplo, el sensor de corriente -70- puede ser usado como parte de un cabezal para un dispositivo de memoria de disco duro de un ordenador. En particular, pero no de manera exclusiva, el sensor de corriente -70- puede ser usado como parte de un cabezal de lectura y escritura de efecto magneto-resistivo gigante (GMR). La fabricación del sensor -70- en un sustrato cerámico, de vidrio o silicio es especialmente apropiada en esta aplicación.

25 En realizaciones de la invención descritas en lo anterior, elementos de corriente de los sensores de corriente -70- están eléctricamente conectados en serie entre sus respectivos terminales. En realizaciones alternativas de la invención, las FEM pueden ser amplificadas separadamente y luego, combinadas electrónicamente, por ejemplo mediante circuitos de suma analógica y/o mediante suma digital en un microcontrolador. Por ejemplo, las FEM de la parte -43- de detección y la parte -44- de supresión pueden ser amplificadas separadamente y luego combinadas. Tales amplificación y suma electrónicas permiten que la sensibilidad del sensor -70- a campos magnéticos alejados sea electrónicamente anulada o, de otra forma, ajustada.

30 En otras realizaciones, el escalado para asegurar que las bobinas y partes de bobina tengan productos área-espiras iguales puede ser realizada electrónicamente. Por ejemplo, en una realización alternativa, la parte -43- de detección puede tener sólo una espira, pero la FEM generada en funcionamiento por esta sola espira puede ser amplificada por un factor de cuatro para compensar el hecho de que tiene sólo un cuarto del área de la parte -44- de supresión. De manera similar, el sensor de corriente -70- puede ser considerado como cuatro bobinas, las dos bobinas externas comprenden cada una cuatro espiras y las dos bobinas internas comprenden cada una siete espiras. Además, incluso en otra realización, estas cuatro bobinas pueden ser sustituidas por cuatro bobinas cada una de una sola espira, siempre que se dé una ponderación apropiada a la salida de cada única espira de bobina, para proporcionar insensibilidad a los campos magnéticos alejados y sensibilidad a los campos magnéticos locales.

35 Aunque en el contador -200-, el procesamiento de señal es efectuado por un circuito integrado AD7759 en el submontaje -220- de PCB de sensor en combinación con un microcontrolador PIC16C923 en el submontaje -230- de PCB de visualizador, se apreciará que la función de estos dispositivos puede ser combinada en un circuito integrado, por ejemplo, un microcontrolador adaptado al cliente con almacenamiento de datos de EEPROM en un circuito impreso.

40 Se pueden hacer modificaciones a las realizaciones de la invención descrita en lo antedicho sin apartarse del alcance de la invención tal como definido en las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

1. Sensor de corriente (40, 60, 70) para acoplar
- 5 al campo magnético generado por el flujo de corriente en un conductor; comprendiendo el mencionado sensor una configuración de bobinas sustancialmente planas que incluye:
- 10 una primera bobina (42, 62) compuesta por una parte interna de la bobina (43, 63, 76a, 75) y una externa de la bobina (44, 64, 77a), combinadas para tener un centro magnético efectivo en una primera ubicación (C1, C1'), en el que las mencionadas partes interna y externa de la bobina están conectadas en serie y arrolladas efectivamente en direcciones opuestas; con lo cual el campo magnético generado por el mencionado conductor produce una región de respuesta positiva en la mencionada primera ubicación (C1, C1') y una región externa de respuesta negativa;
- 15 caracterizados porque el mencionado sensor de corriente comprende
- 20 una segunda bobina (45, 65), en un plano sustancialmente paralelo a la mencionada primera bobina, comprendiendo una parte interna de la bobina (46, 66, 76b, 75) y una parte externa de la bobina (47, 67, 77b) combinadas para tener un centro magnético efectivo en una segunda ubicación (C2, C2'), en el que las mencionadas partes interna y externa de la bobina están conectadas en serie y arrolladas efectivamente en direcciones opuestas; con lo cual el campo magnético generado por el mencionado conductor produce una región de respuesta negativa en la mencionada segunda ubicación (C2, C2') y una región externa de respuesta positiva;
- 25 en el que las mencionadas bobinas están configuradas para funcionar en forma conjunta con un conductor de carga lineal cuyas líneas de campo magnético ascienden desde el mencionado sensor en la primera ubicación, con un centro magnético efectivo (M1), y descienden desde el mencionado sensor en la segunda ubicación, con un centro magnético efectivo (M2);
- 30 estando la primera bobina en relación con la segunda, de modo que el centro magnético efectivo de la primera bobina (C1) corresponde al centro magnético efectivo (M1) y el centro magnético efectivo de la segunda bobina (C2) corresponde al centro magnético efectivo (M2); y
- 35 estando situada la primera bobina y la segunda bobina, de modo que la mencionada región de respuesta positiva de la primera bobina coincide sustancialmente con la mencionada región de respuesta positiva de la segunda bobina y la mencionada región de respuesta negativa de la segunda bobina coincide sustancialmente con la mencionada región de respuesta negativa de la primera bobina.
2. Sensor de corriente de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las partes de la bobina tienen productos de área-espiras sustancialmente iguales.
- 40 3. Sensor de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que las partes de bobina son elementos alargados y están dispuestas de manera que resulten sustancialmente paralelas entre sí.
- 45 4. Sensor de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, en el que las partes adyacentes de las bobinas están concatenadas; en virtud de lo cual las partes adyacentes de las bobinas forman en conjunto el equivalente magnético de las partes conectadas eléctricamente.
- 50 5. Sensor de acuerdo con cualquier reivindicación precedente, que comprende además un circuito electrónico impreso de capas múltiples, en el que las partes de las bobinas están duplicadas en el circuito impreso en una pluralidad de niveles.
6. Sensor de acuerdo con la reivindicación 5, en el que las partes de las bobinas están conectadas alternativamente entre las capas.
- 55 7. Contador de energía eléctrica que comprende un sensor, de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

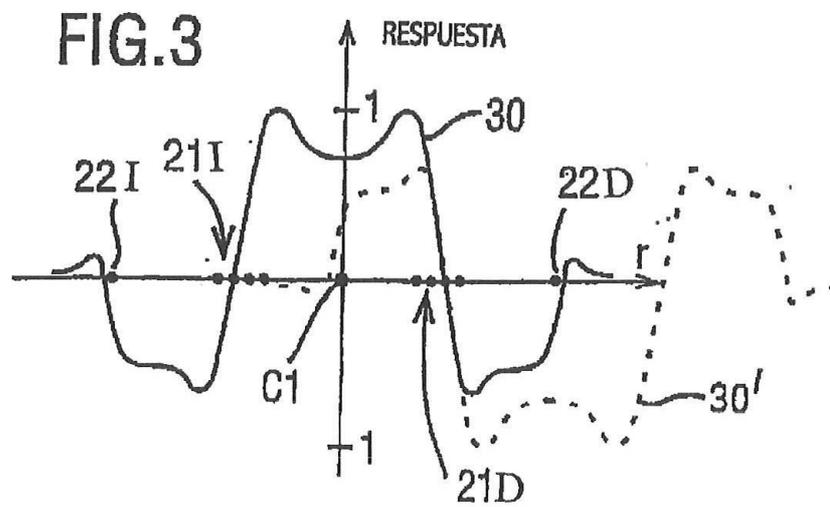
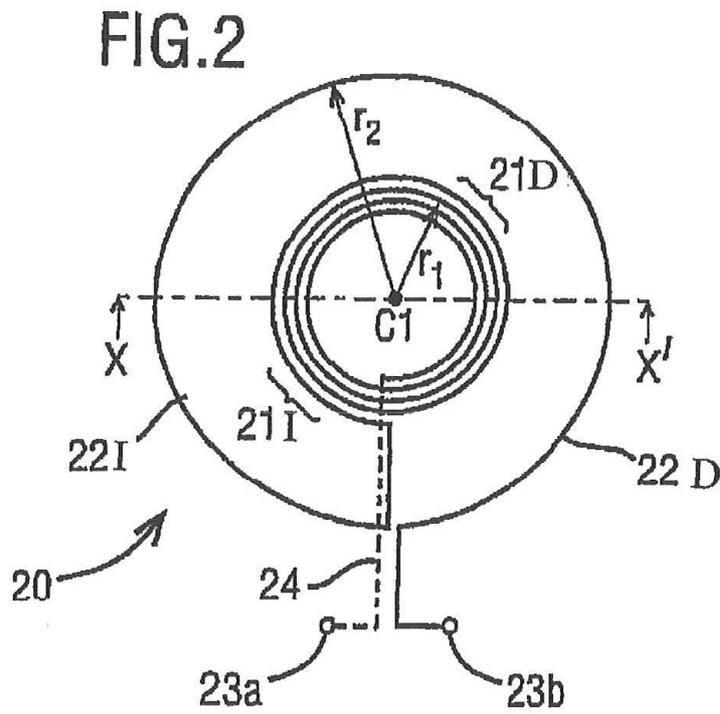
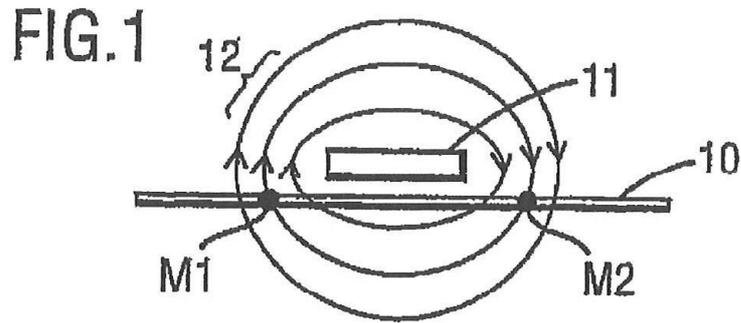
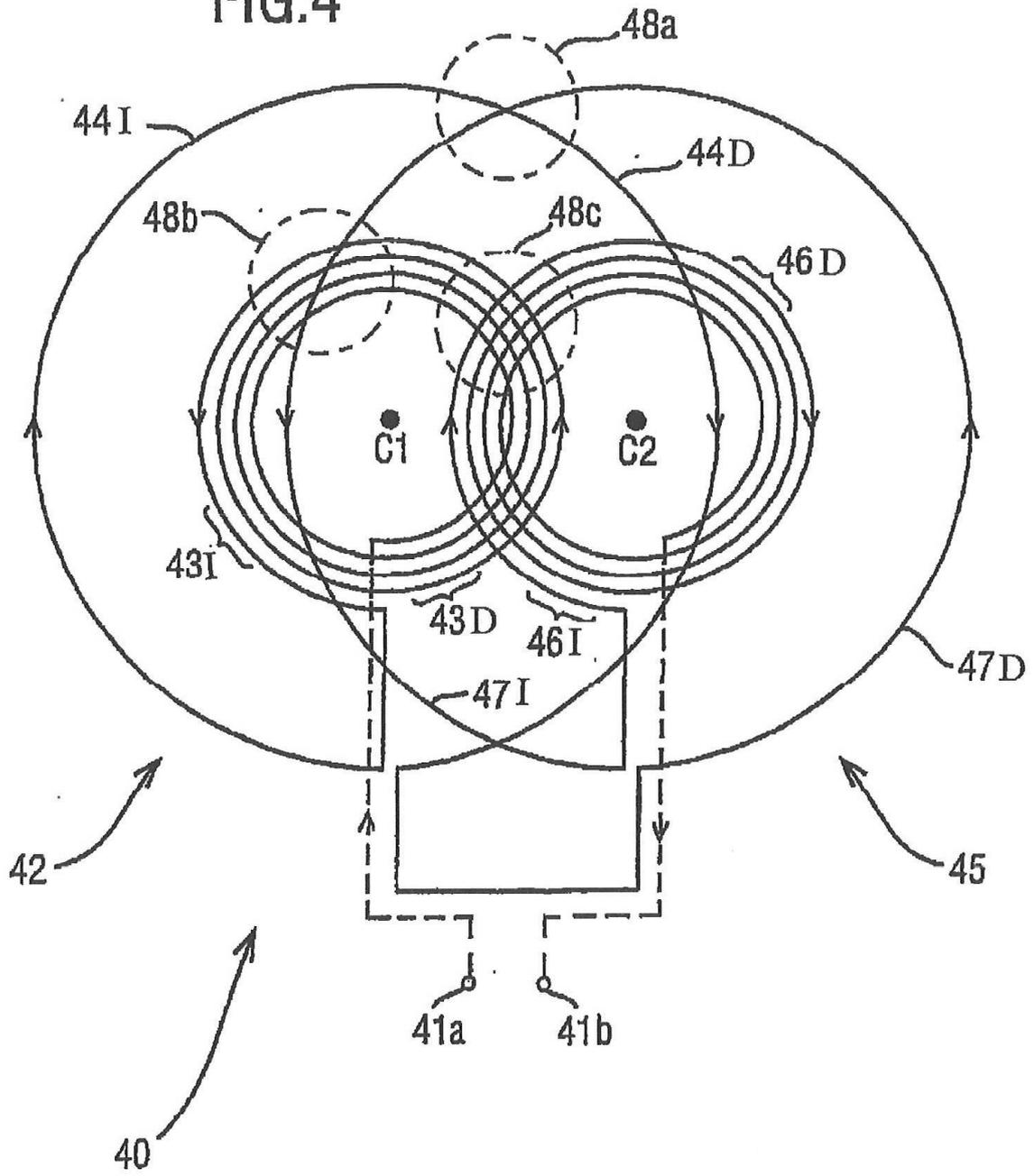


FIG.4



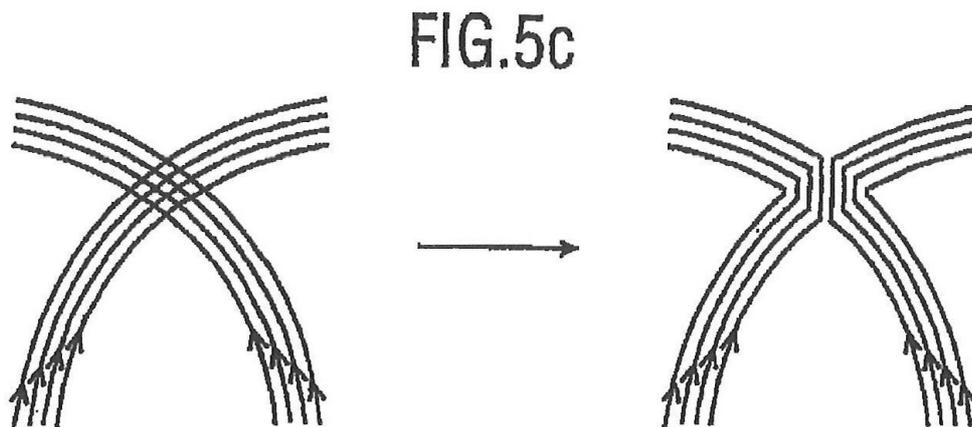
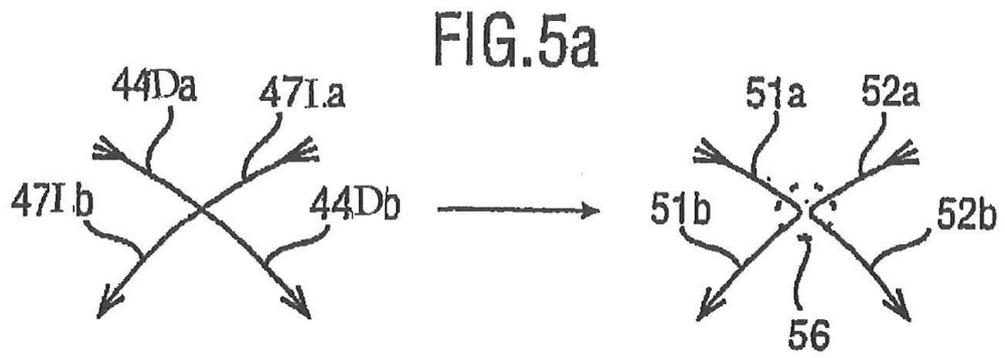


FIG.6

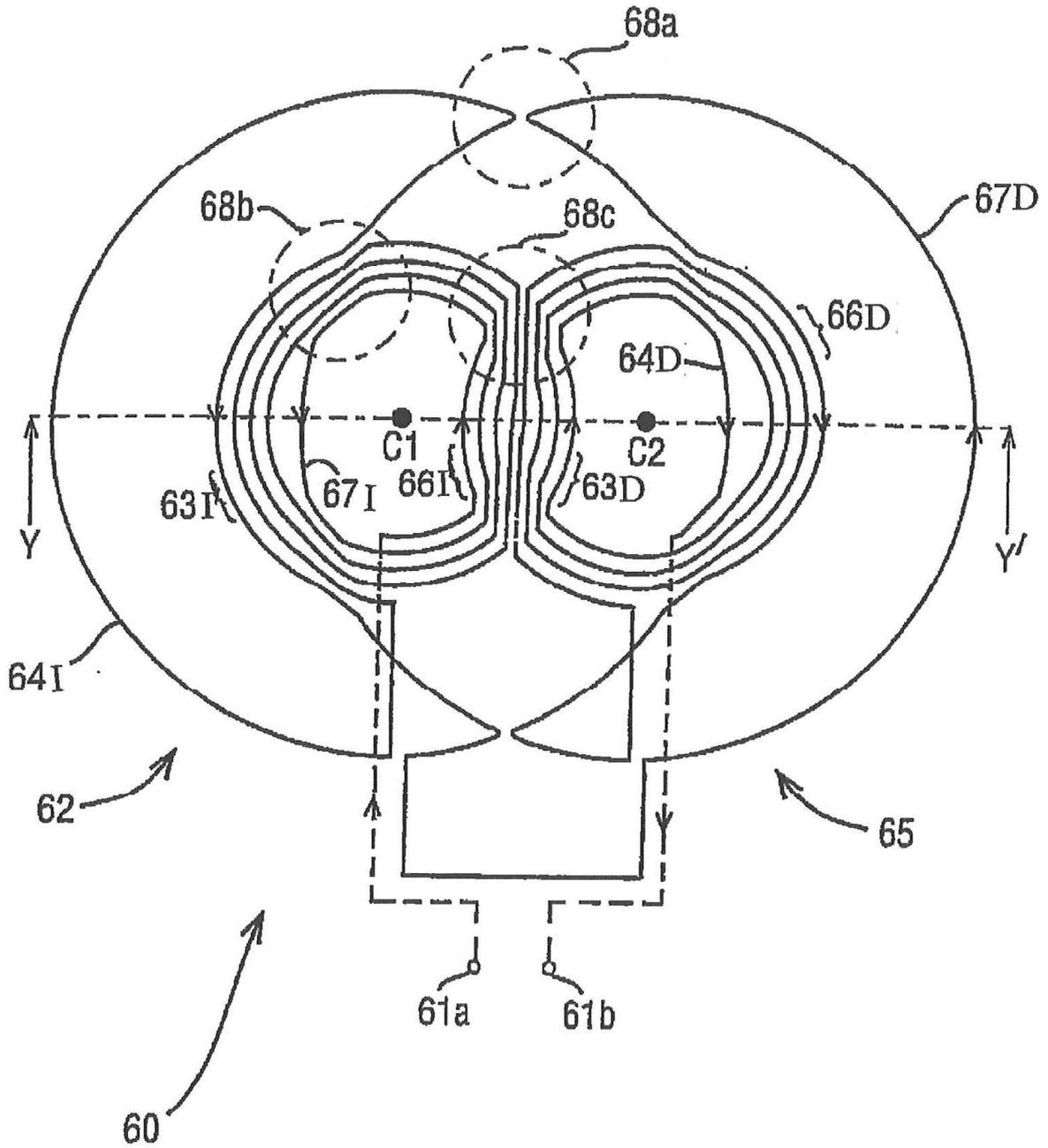
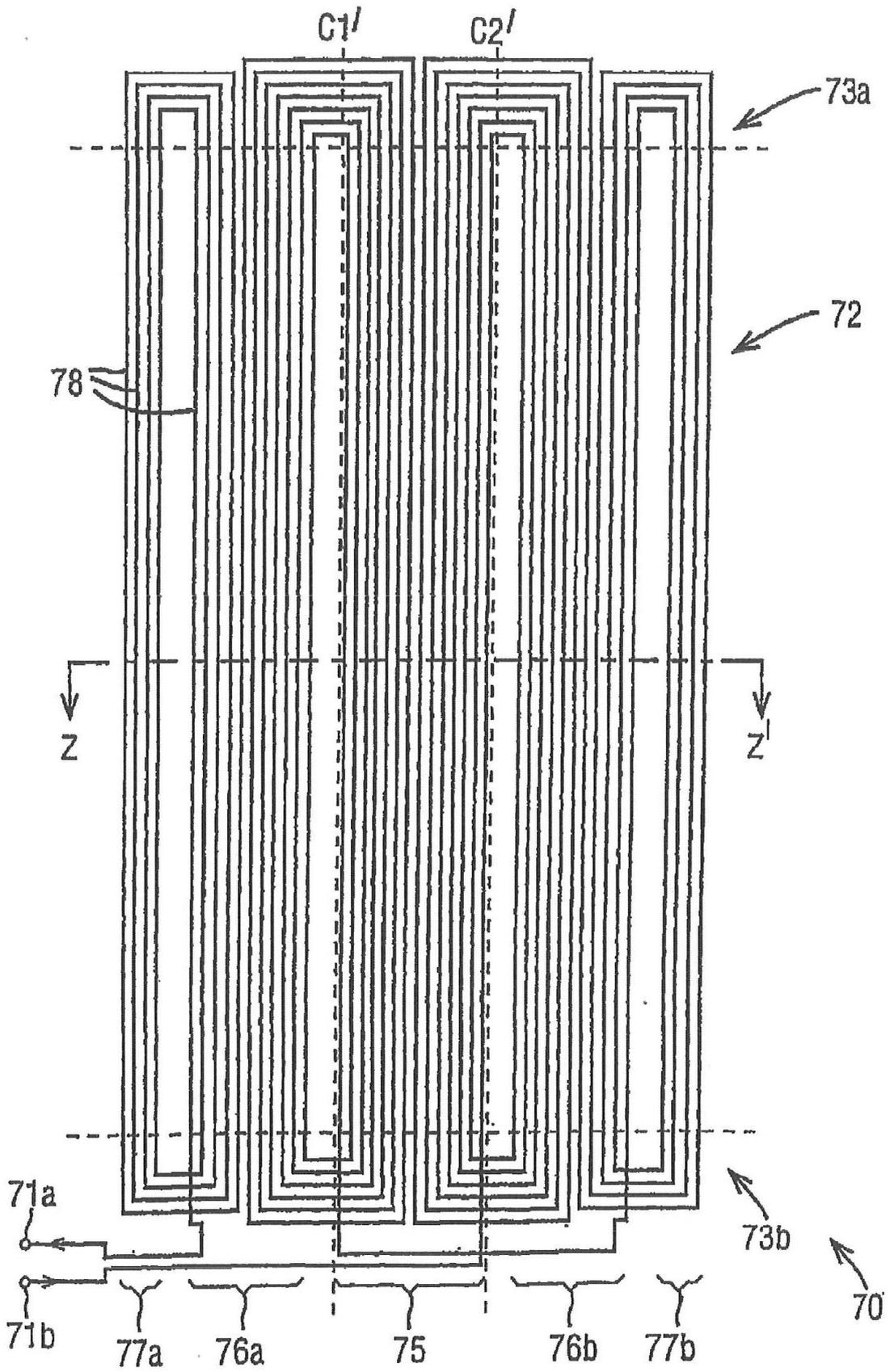
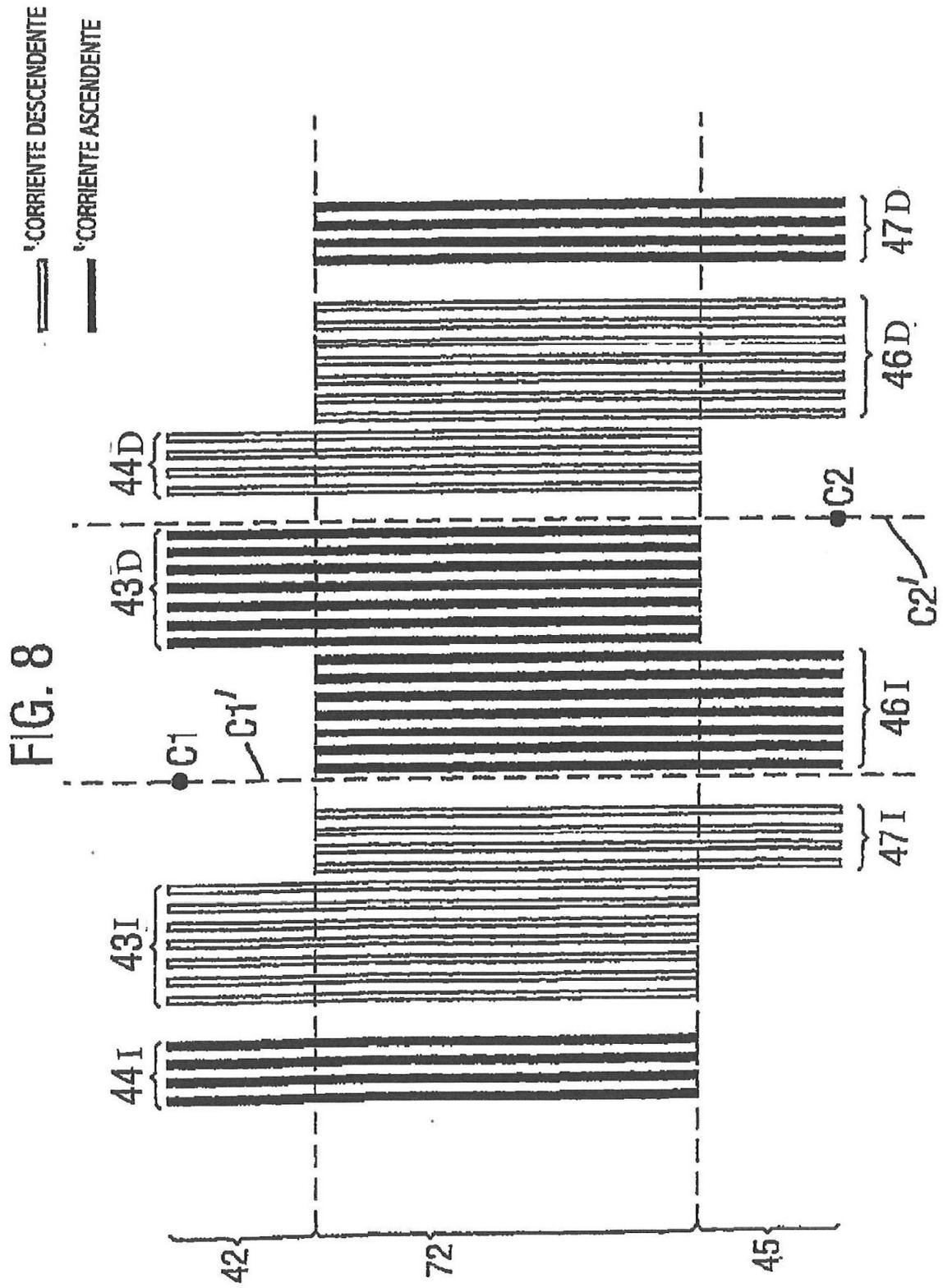
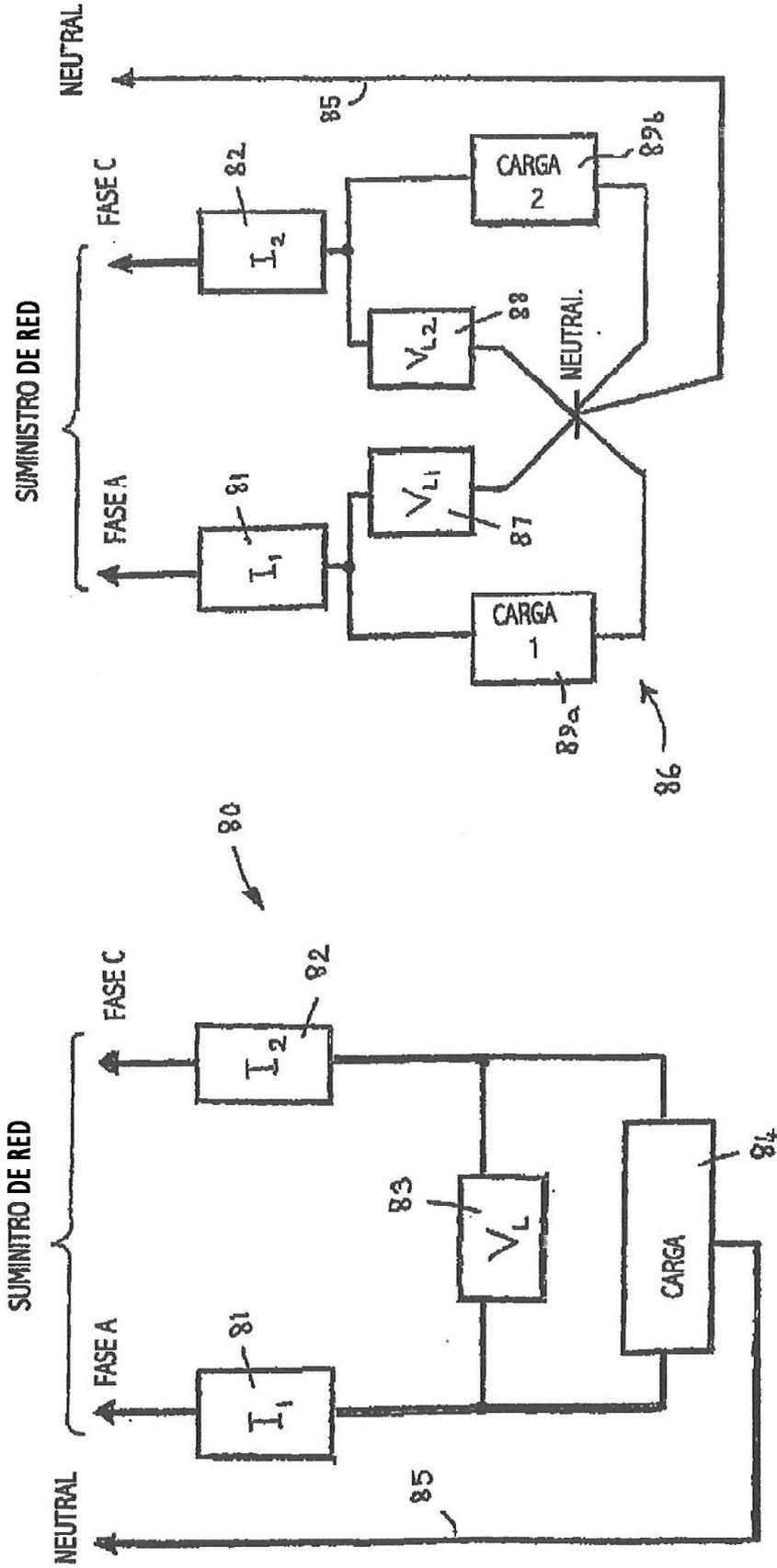


FIG. 7







CONFIGURACION -12S

CONFIGURACION -2S

FIG. 9

FIG. 10a

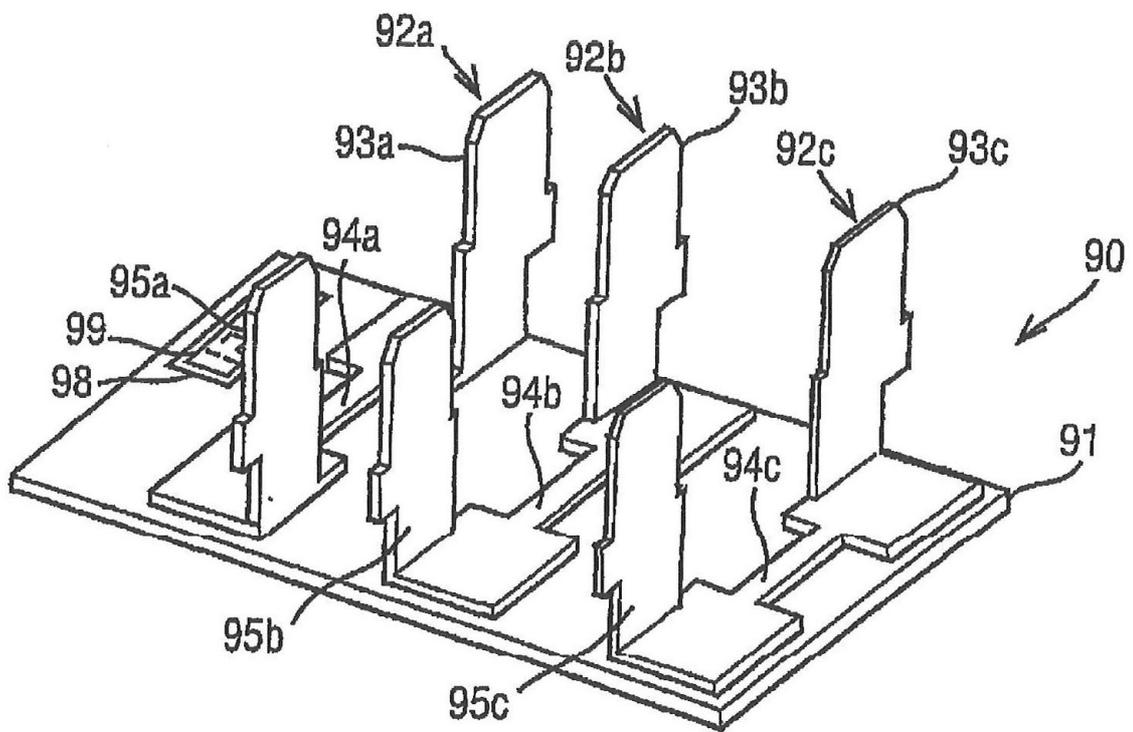
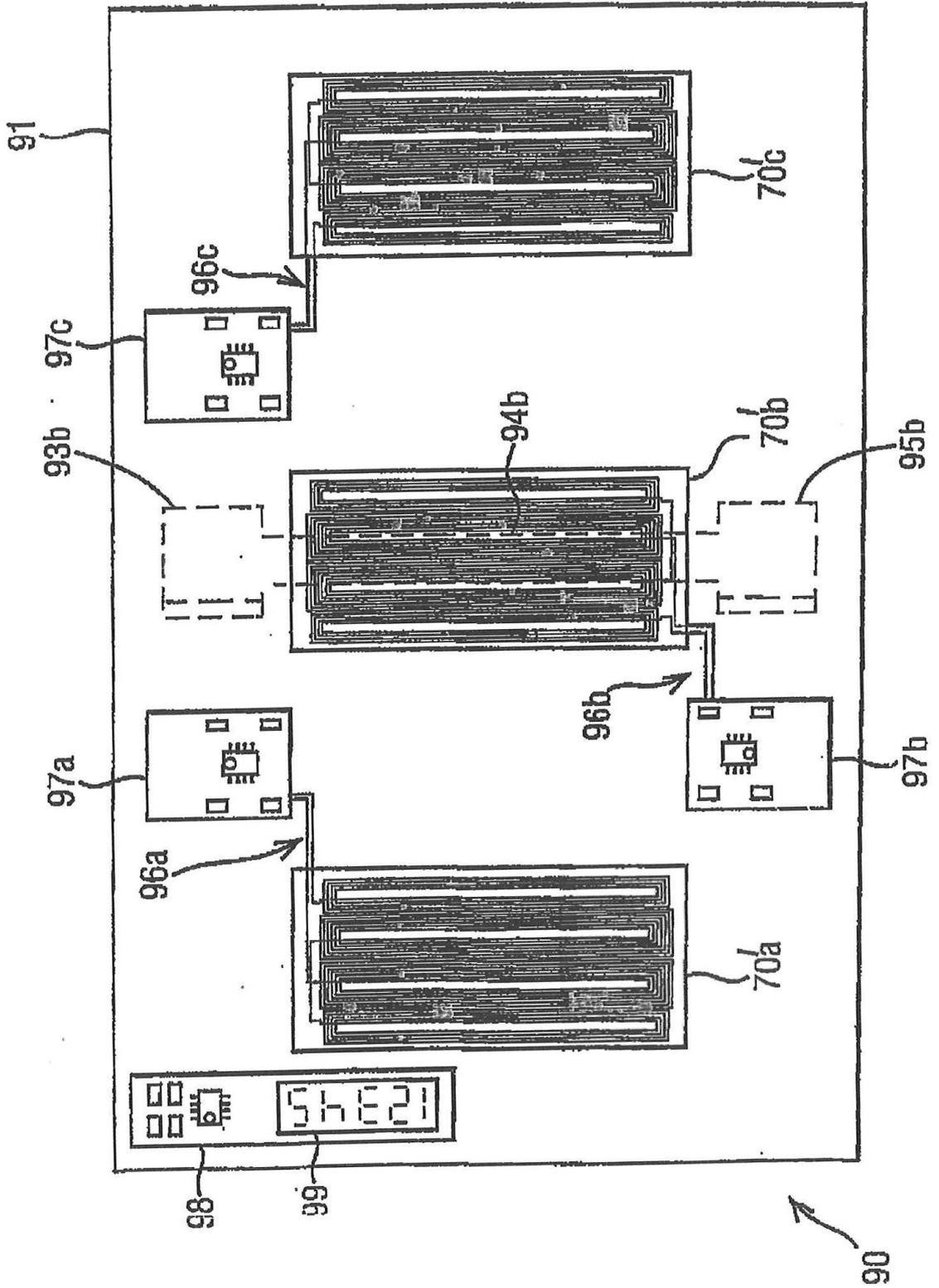


FIG. 10b



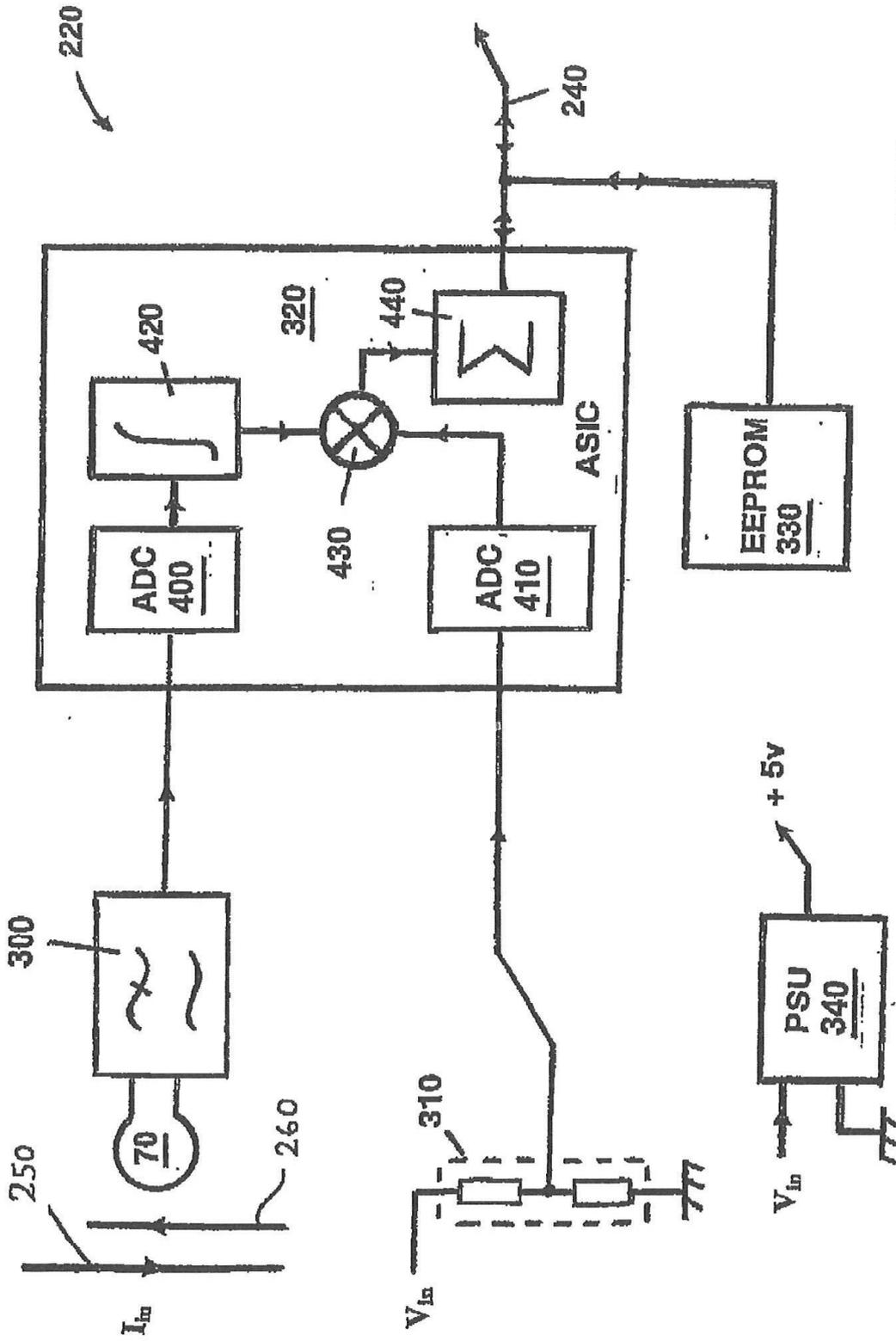


FIG. 13

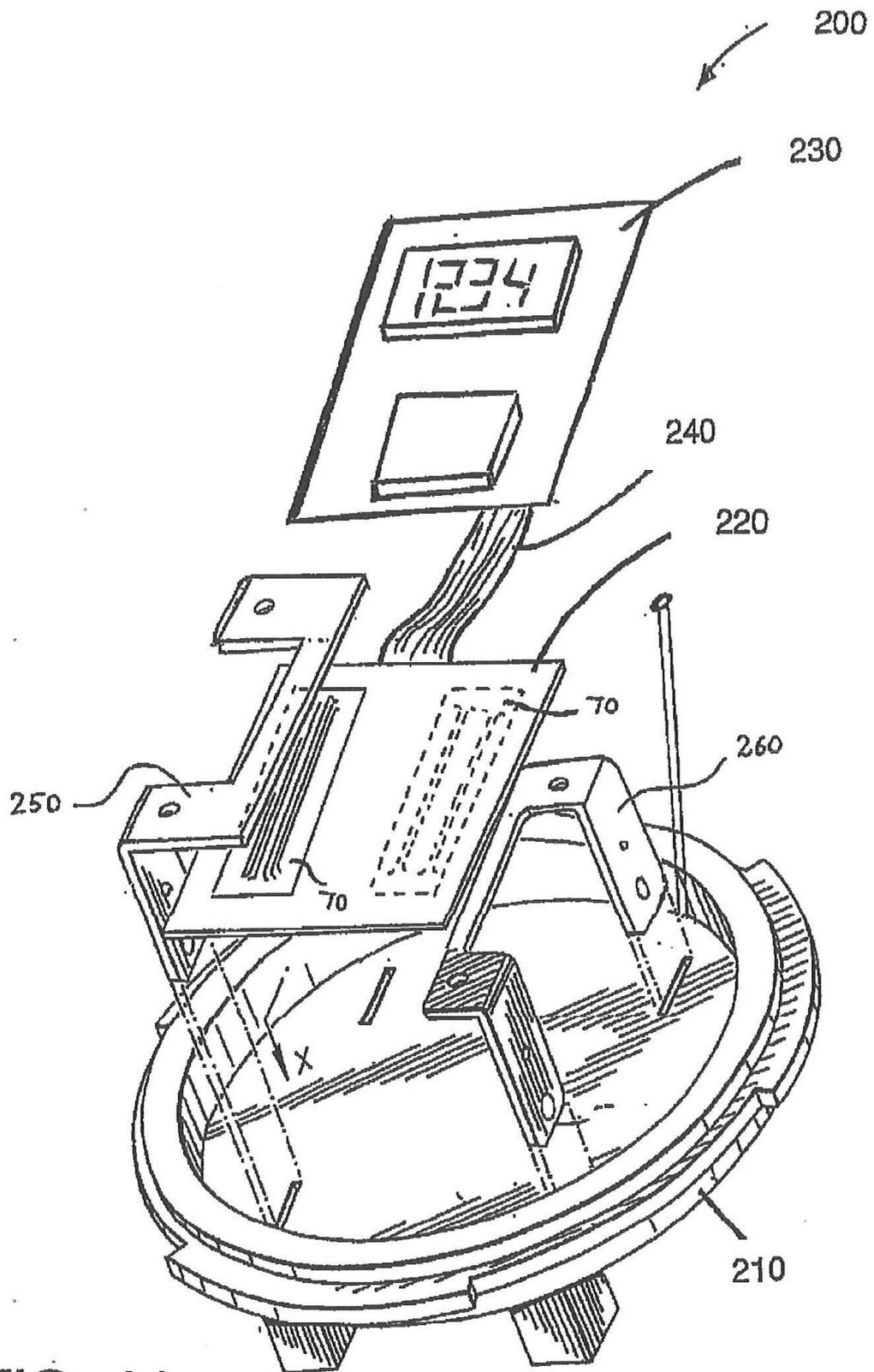


FIG. 11

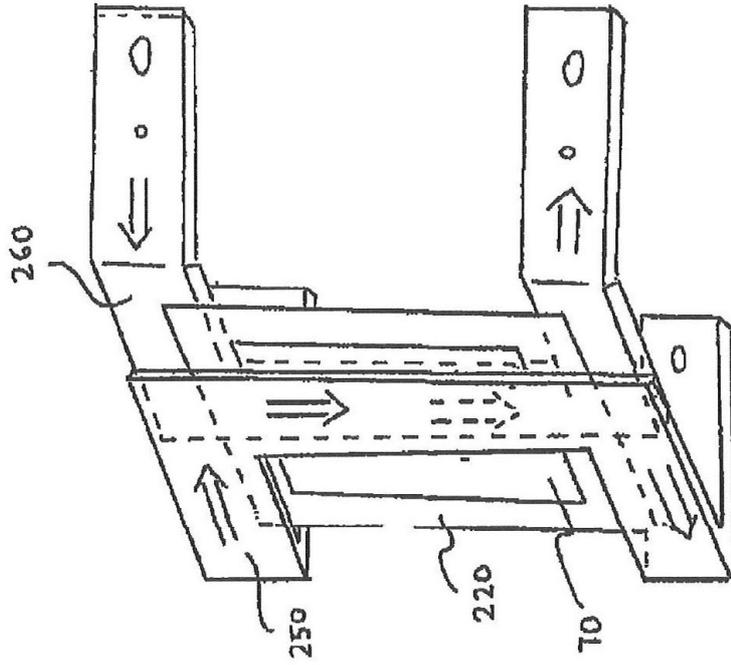


FIG. 12a

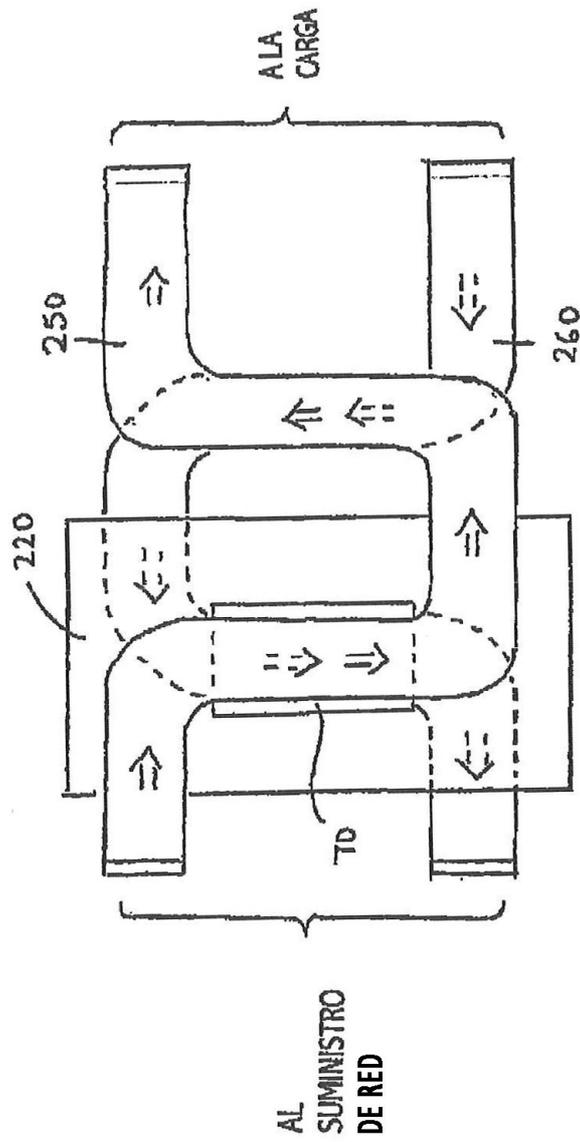
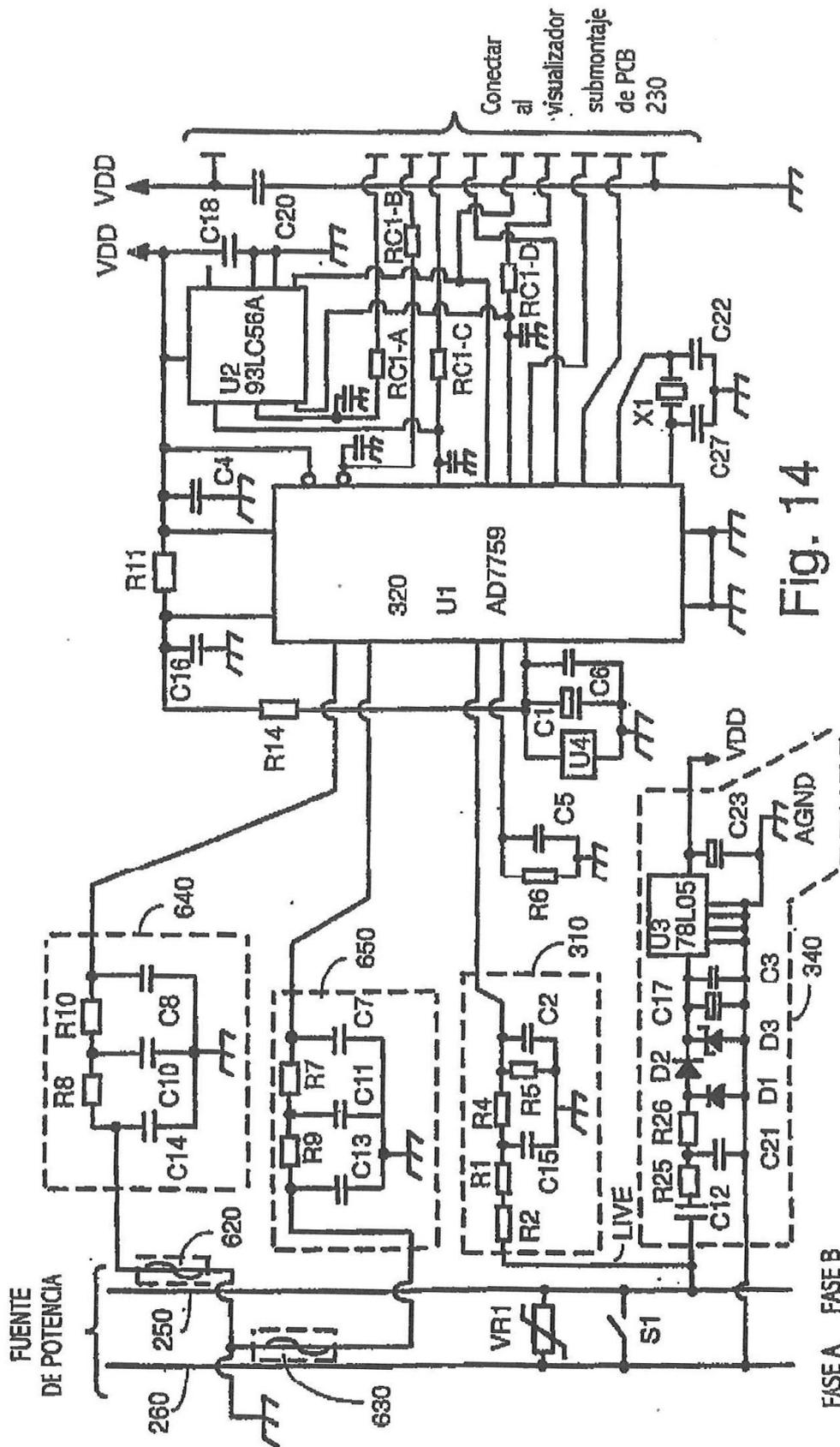


FIG. 12b



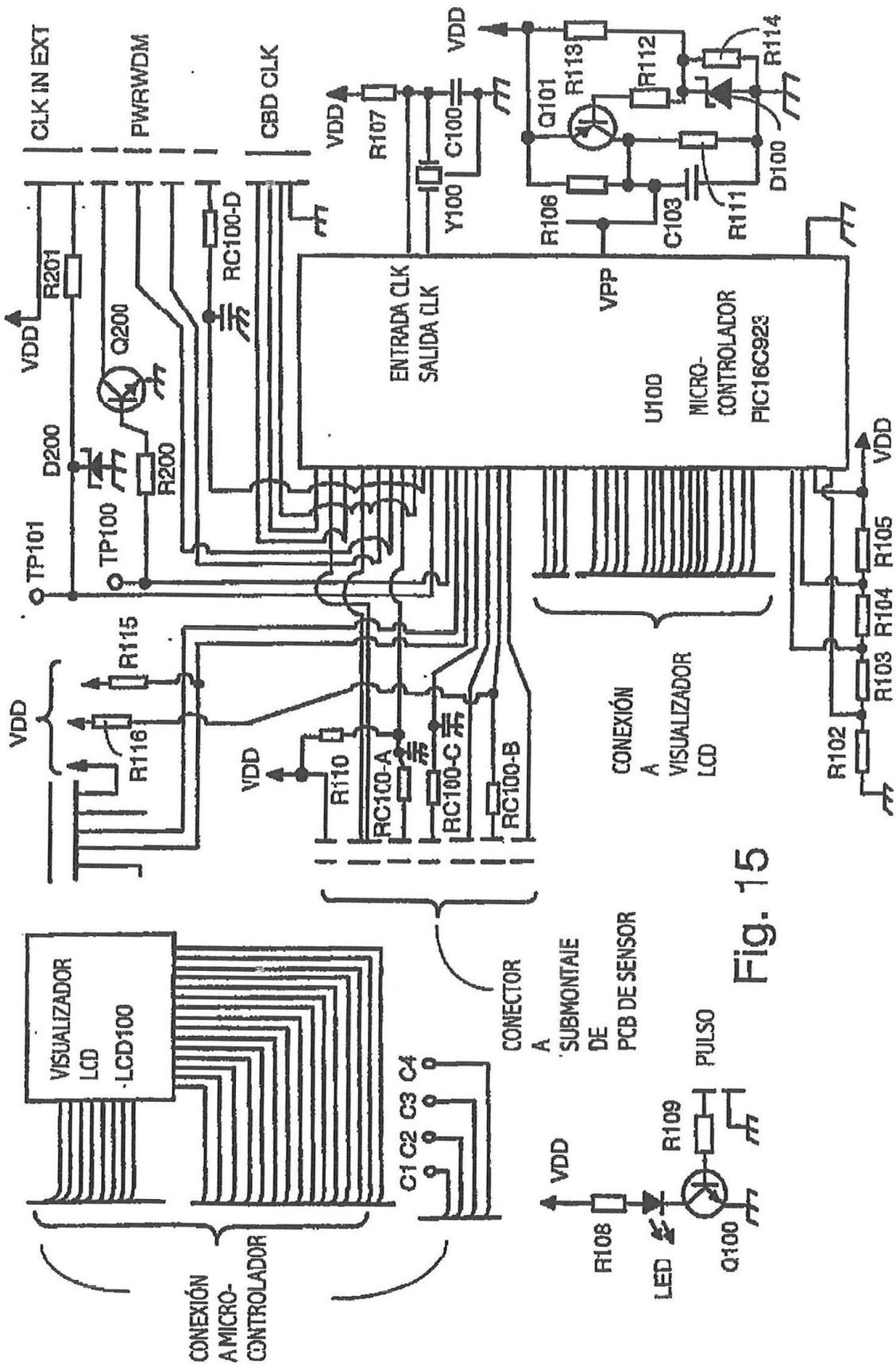


Fig. 15