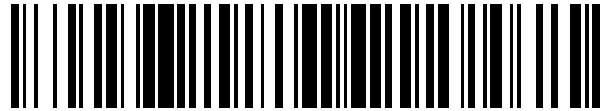


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 776**

51 Int. Cl.:

G01N 27/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2009 E 09777153 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2013 EP 2316014**

54 Título: **Método y dispositivo para mediciones de conductividad inductiva de un medio fluido**

30 Prioridad:

14.07.2008 CN 200810040545

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

20.01.2014

73 Titular/es:

**METTLER-TOLEDO AG (100.0%)
Im Langacher 44
8606 Greifensee, CH**

72 Inventor/es:

**WANG, CHANGLIN;
WANG, FENGJIN;
WANG, XIAOKAI y
AMMANN, JÜRGEN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 438 776 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y dispositivo para mediciones de conductividad inductiva de un medio fluido

5 La presente invención implica un método y un dispositivo para medir electromagnética o inductivamente la conductividad eléctrica de un medio fluido, en particular un líquido o una solución. Ésta pertenece al campo técnico de los instrumentos de medición.

10 La conductividad eléctrica de un líquido es un importante parámetro de análisis en electroquímica. Su medición tiene una amplia aplicación en sectores tales como la industria química, metalurgia, biología, medicina, prueba de cristalización, conservación del agua, recursos energéticos, etc. Los métodos de medición de la conductividad pueden dividirse en dos grupos: de tipo contacto y de tipo sin contacto.

15 Una medición de tipo sin contacto aplica el principio de la inducción electromagnética y por lo tanto se conoce también como método de medición electromagnética de la conductividad o método de medición inductiva de la conductividad. Puesto que no existe ningún contacto entre la parte conductora del componente de la medición y el líquido medido, los sensores de este tipo tienen la ventaja de una buena solidez, resistencia a la corrosión, ninguna polarización y larga vida de servicio. Ha existido un largo historial en cuanto al desarrollo puesto que el principio básico de la medición electromagnética de la conductividad de un líquido fue inventado y aplicado en la práctica.

20 Por ejemplo, la patente de EE.UU. nº 2.542.057 de M. J. Rellis abrió la teoría básica al público en 1951. El sensor conforme a esta referencia emplea un par de núcleos toroidales coaxiales que están cubiertos por un material protector de la corrosión y eléctricamente aislante. El orificio interno de los 2 núcleos toroidales permite una trayectoria de corriente a través del líquido. De acuerdo con el principio de inducción electromagnética, cuando se envía una corriente alterna a través de la bobina de excitación, se genera un flujo magnético alterno en el núcleo toroidal de excitación, el cual genera a su vez una corriente de inducción a través del bucle en el líquido medido. Esta corriente de inducción generada en el bucle se presenta en sí misma como un bucle de corriente que atraviesa tanto el núcleo toroidal de excitación como el núcleo toroidal de captación. El bucle de corriente genera un flujo magnético alterno en el núcleo toroidal, el cual genera en la bobina de inducción una corriente inducida, la cual produce a su vez una tensión eléctrica inducida en la bobina de inducción.

25 Puesto que la corriente de inducción del líquido está relacionada con su conductividad, la corriente inducida y la tensión inducida de la bobina de inducción (tensión en circuito abierto) es proporcional a la corriente a través del líquido. De ese modo, la conductividad del líquido puede ser deducida de la medición de la corriente inducida o de la tensión inducida. La conductividad G del líquido se calcula a partir de la fórmula $G = C/R$, donde C es la constante de la célula detectora y R es la resistencia equivalente del bucle a través del líquido. Con anterioridad, la tensión de excitación era normalmente una onda seno de AC, y la tensión inducida de la bobina de inducción se medía mediante un método de equilibrio de puente eléctrico, que tenía las desventajas de una baja precisión y un bajo nivel de automatización. En la actualidad, debido al desarrollo de modernas tecnologías electrónicas, este método se utiliza en raras ocasiones.

35 El método de medición de la tensión de inducción es relativamente simple y se sigue usando todavía. Por ejemplo, de acuerdo con el método que fue introducido en la publicación "Medidor Inductivo de Conductividad y Concentración", Chemical Automation and Meters, 1997 24(1): 56-58, la corriente de inducción del líquido está relacionada con su conductividad. La corriente inducida o la tensión inducida (tensión en circuito abierto) de la bobina de inducción es proporcional a la corriente a través del líquido. Con ello, la conductividad del líquido puede ser deducida de la medición de la corriente inducida o de la tensión inducida de la bobina de inducción. Pero en este método, la tensión inducida de la bobina de inducción no sólo está relacionada con la conductividad del líquido sino también con la inductancia de la bobina de excitación, lo cual afecta negativamente a la linealidad de la medición. También, la permeabilidad magnética del núcleo toroidal se ve afectada por la temperatura y por otros factores, lo que provoca un cambio dependiente de la temperatura de la inductancia de la bobina de excitación y tiene un efecto negativo sobre la precisión de la medición.

40 Para incrementar la precisión de las mediciones, la patente de EE.UU. nº 5.455.513 A1 de Falmouh Scientific 1995 propone un sistema que emplea un método de compensación de corriente, también conocido como método de corriente cero. Con ello, la corriente inducida de la bobina de inducción se equilibra mediante una compensación adicional de tal modo que la corriente de compensación se sustrae de la corriente de inducción para producir corriente cero y una tensión cero correspondiente. Éste es un método de precisión relativamente alta, puesto que cuando la tensión en el terminal de medición de la bobina de inducción es cero, la corriente inducida en la bobina de inducción es proporcional a la conductividad del líquido. Sin embargo, este método es relativamente complicado y costoso, debido a que incluye las etapas de preamplificación, amplificación de filtro sintonizado, detección en fase, integración, multiplicación de conmutación y amplificación adicional para generar la corriente de compensación apropiada. Además, para cambiar el rango de medición, normalmente es necesario cambiar los parámetros de todos los componentes involucrados. También, para la etapa de integración mencionada con anterioridad, se requiere un condensador de alta calidad de integración, y por lo tanto de coste elevado.

Se conoce un medidor de conductividad de tipo inducción, que comprende un circuito de muestreo y retención, por medio del documento US 5767682.

5 En vista de las desventajas mencionadas con anterioridad de los dispositivos existentes para la medición electromagnética e inductiva de la conductividad de un líquido, la presente invención tiene el objetivo de subsanar los inconvenientes de la técnica anterior, en particular para proporcionar un método de medición simple y de alta precisión y un dispositivo de medición correspondiente. Un objetivo adicional consiste en mejorar la adaptabilidad a diferentes rangos de medición.

10 La solución técnica se proporciona mediante un método de medición y un dispositivo de medición, los cuales comprenden las características descritas en las reivindicaciones independientes. Realizaciones adicionales de la invención se describen en las reivindicaciones dependientes adicionales.

15 La presente invención divulga un método para medir inductivamente la conductividad eléctrica de un medio fluido con un sensor, que comprende una bobina de excitación para aplicar una corriente de excitación al medio fluido y una bobina de inducción para recibir una corriente inducida generada por la corriente de excitación a través del medio fluido, comprendiendo dicho método las etapas de:

20 - aplicar a la bobina de excitación una corriente de excitación alterna,

- medir la corriente inducida para proporcionar una señal de medición correspondiente a la corriente inducida;

25 - proporcionar la señal de medición a un proceso de rastreo y retención para producir la señal de salida, en el que el proceso de muestreo y retención mantiene la señal de medición a un valor sustancialmente constante durante un período de tiempo de retención (H), el cual está sincronizado con la corriente de excitación alterna y configurado con suficiente longitud como para obtener una señal sustancialmente estable y/o una señal que no se vea sustancialmente afectada por los efectos introducidos por el cambio de dirección de la corriente alterna o por las transiciones dependientes del tiempo de la señal de medición, y/o que la duración del período de tiempo de retención (H) es aproximadamente más largo que un cuarto del período de tiempo de la corriente alterna;

30 - proporcionar la señal de salida para calcular la conductividad del medio fluido.

35 Con este método, se consiguen mediciones de alta precisión suprimiendo efectos perturbadores, que afectan negativamente a la medición o a la linealidad de la medición de conductividad. Además, el uso de un proceso de muestreo y retención permite la construcción de un circuito simple, muy económico, con pocos componentes eléctricos como un circuito de entrada, un amplificador y un circuito de muestreo y retención. En particular, se puede evitar un condensador de integración costoso, de alta calidad. Adicionalmente, el circuito de medición puede ser adaptado fácilmente a diferentes rangos de medición cambiando unos pocos componentes, en particular cambiando la ganancia de un solo amplificador.

40 Con el método y el dispositivo conforme a la invención, se puede reducir o eliminar un gran número de efectos negativos, que afectan negativamente a la medición o a la linealidad de la medición. En particular, efectos de la inductancia de la bobina de excitación, efectos de un circuito de amplificación o de un circuito de rectificación, y especialmente efectos de la longitud de los cables. También, la permeabilidad magnética del núcleo toroidal se ve afectada por la temperatura y por otros factores, lo que provoca un cambio dependiente de la temperatura de la inductancia de la bobina de excitación y tiene un efecto negativo sobre la precisión de la medición. Sin embargo, con el proceso de muestreo y retención, estas influencias y factores perturbadores pueden ser efectivamente suprimidos. Por lo tanto, la presente invención divulga un método y un dispositivo para medir electromagnéticamente (inductivamente) la conductividad de líquidos, en donde el método y el dispositivo se distinguen por su simplicidad y por su alta precisión.

45 Además, el proceso de muestreo y retención tiene la ventaja de que puentea las transiciones, durante las que se produce un exceso de excitación o un exceso de amortiguamiento de la señal, lo cual tiene un efecto perjudicial sobre la precisión de la medición. De acuerdo con la invención, se evita el impacto de esas transiciones para optimizar la precisión de la medición. La duración del período de tiempo de retención se configura lo suficientemente largo como para obtener una señal sustancialmente estable y/o una señal que sustancialmente no se vea afectada por efectos introducidos por el cambio de dirección de la corriente alterna o por las transiciones dependientes del tiempo de la señal de medición y/o que la duración del período de tiempo de retención sea aproximadamente más largo que un cuarto del período de tiempo de la corriente alterna. Además, es muy económico usar un circuito de muestreo y retención que evite el tiempo de transición del cambio de polaridad de la señal alterna de onda cuadrada.

50 Este período de tiempo de muestreo y retención tiene la ventaja de que también puentea esas transiciones, durante las que cambian la polaridad de la corriente de excitación alterna y/o la señal de medición correspondiente. Estas transiciones son muy complejas debido a la influencia de muchos factores como impactos del circuito de excitación, capacitancias de los cables, interferencias por diafonías o características del circuito de medición, del circuito de amplificación o del circuito de rectificación. Las transiciones dan como resultado un exceso de excitación y/o un

exceso de amortiguación, lo que tiene un efecto perjudicial sobre la precisión de la medición. De acuerdo con la invención, se evita el impacto de esas transiciones para optimizar la precisión de la medición.

5 En una primera realización de la invención, la corriente de excitación y/o la señal de medición son sustancialmente constantes durante un período de tiempo sustancial, en particular aquél en que la señal es sustancialmente una onda cuadrada. Esto tiene la ventaja de que esas señales pueden ser medidas de manera más precisa que otras formas de señal, en particular una señal de onda seno.

10 En una realización adicional de la invención, el comienzo del período de tiempo de retención es aproximadamente coincidente con, en particular, el tiempo de cambio de dirección, ligeramente precedente, de la corriente de excitación alterna.

15 En una realización preferida adicional, el período de tiempo de retención es algo más grande que un cuarto del período de tiempo de la corriente alterna. Además, es muy económico usar un circuito de muestreo y retención para evitar el tiempo de transición del cambio de polaridad de la señal alterna de onda cuadrada.

20 En una realización adicional de la invención, con anterioridad a proporcionar la señal de medición al proceso de muestreo y retención se convierte en una tensión y/o una señal digital y/o una señal rectificadora, en particular alternando entre una adición y una sustracción de la señal de medición digitalizada o invirtiendo el signo de la señal de medición digitalizada.

25 En la etapa de medición de una realización preferida adicional, la señal rectificadora es rectificadora sincrónicamente en relación con la corriente de excitación para proporcionar al proceso de muestreo y retención una señal de medición rectificadora síncrona.

En una realización preferida de la invención, se lleva a cabo una conversión A/D sobre la señal de salida para determinar la conductividad del medio fluido y/o el sensor se sumerge en el medio fluido para la medición de la conductividad de un medio fluido.

30 En una realización preferida adicional de la invención, el período de tiempo de retención se sincroniza mediante una señal de temporización, la cual es suministrada por una fuente de corriente de excitación alterna o mediante una unidad de control, que controla la fuente de la corriente de excitación alterna.

35 En una realización preferida adicional, el método de la presente invención se lleva a cabo por inmersión de un sensor en el líquido, en el que el sensor emplea al menos dos núcleos toroidales, uno de los cuales porta una bobina de excitación y el otro porta una bobina de inducción, y comprende las etapas de:

- generar una tensión alterna de onda cuadrada para alimentar la bobina de excitación;

40 - captar la corriente de la bobina de inducción;

- convertir la corriente en tensión;

45 - desmodular síncronamente la forma de onda de la tensión;

- emplear un circuito de muestreo y retención para evitar el tiempo de transición de la forma de onda desmodulada;

- aplicar una conversión A/D en la salida del circuito de muestreo y retención; y

50 - calcular la conductividad del líquido en base al resultado de la conversión de A/D.

En una realización adicional del método que antecede para la medición electromagnética (inductiva) de la conductividad de líquidos, la tensión del terminal de salida de la bobina de inducción es sustancialmente cero.

55 En una realización adicional del método que antecede para la medición electromagnética (inductiva) de la conductividad de líquidos, el método de cálculo de la conductividad G del líquido se calcula de acuerdo con:

$$G = C/R, \text{ siendo } R = \frac{V_5}{I_7 N^2}$$

60 en donde C es la constante de la célula detectora, V_5 es la tensión de excitación, N es el número de espiras del arrollamiento de la bobina, y R es la resistencia equivalente del bucle a través del líquido.

En una realización adicional del método, dado que las resistencias de DC de la bobina detectora y del cable de

conexión son tan pequeñas que pueden ser completamente ignoradas, la resistencia equivalente del bucle a través del líquido es correcta como:

$$R = \frac{V_5}{I_7 N^2} - \frac{k \times (R_{L1} + R_{L2})}{N^2}$$

5 donde R_{L1} es la Resistencia de DC de la bobina de excitación y del cable de conexión, R_{L2} es la resistencia de DC de la bobina de inducción y del cable de conexión; k es un coeficiente integral con un valor de 1 a 1,4. En una de las realizaciones, el coeficiente integral k se toma como aproximadamente 1,2.

10 Además, la presente invención incluye un dispositivo de medición para medir inductivamente la conductividad eléctrica de un medio fluido, conectable a un sensor, que comprende una bobina de excitación para aplicar una corriente de excitación alterna al medio fluido y una bobina de inducción, para recibir una corriente inducida generada por la corriente de excitación a través del medio fluido, comprendiendo dicho dispositivo de medición un circuito de entrada, que es conectable a la bobina de inducción y que proporciona una señal de medición que
15 corresponde a la corriente inducida. Para ello, dicho dispositivo de medición comprende un circuito de muestreo y retención con una primera entrada conectada al circuito de entrada para recibir la señal de medición, y con una segunda entrada para recibir una señal de temporización que corresponde a la corriente de excitación, en donde el circuito de muestreo y retención es operable para mantener la señal de medición a un valor sustancialmente constante durante un período de tiempo de retención, que está sincronizado con la señal de temporización.

20 En la realización preferida del dispositivo de medición, el circuito de entrada está conectado al circuito de muestreo y retención a través de un Convertidor Analógico/Digital y/o de un rectificador, en particular un rectificador síncrono para proporcionar al circuito de muestreo y retención la señal de medición, respectivamente como una tensión y/o señal digitalizada y/o rectificada y/o síncrona rectificada.

25 En una realización adicional, el dispositivo de medición comprende una fuente de corriente, que está conectada a la bobina de excitación para aplicación de la corriente de excitación alterna, y que está conectada al circuito de muestreo y retención para transmitir, en particular recibir o enviar, la señal de temporización.

30 Además, la presente invención incluye un sistema de medición que comprende el dispositivo de medición anterior y que comprende además un sensor de conductividad inductivo, que está conectado operativamente al circuito de entrada, en donde el sensor se sumerge en el medio fluido, en particular en un líquido o una solución, y/o en donde cada bobina del sensor es portada por un núcleo toroidal, en particular un anillo de ferrita o un anillo magnético.

35 En comparación con el circuito de medición existente en el estado de la técnica, la presente invención introduce un método con las siguientes ventajas: utiliza un circuito más simple y de menor coste para medir de manera precisa la conductividad del líquido, incluso con un cable muy largo entre el sensor y el dispositivo de medición.

40 Los objetivos, características y ventajas de la invención según se ha descrito en lo que antecede, podrán ser mejor comprendidos a partir de la descripción detallada de realizaciones que se ilustran en los dibujos anexos, en los que:

la figura 1 es un esquema de una realización del dispositivo conforme a la presente invención y de un dispositivo de medición correspondiente;

45 la figura 2 muestra formas de onda de tensión principal de la realización de la figura 1;

la figura 3 ilustra una realización del circuito convertidor de corriente en tensión;

50 la figura 4 ilustra una realización del circuito de demodulación síncrona y del circuito de muestreo y retención;

la figura 5A ilustra una realización del temporizador de muestreo y retención;

la figura 5B es el diagrama de secuencia principal del temporizador de muestreo y retención de acuerdo con la figura 5A;

55 la figura 6 es el esquema de otra realización del dispositivo conforme a la invención.

La figura 1 muestra el esquema de una implementación del método conforme a la presente invención para la medición inductiva de la conductividad de un líquido, y un dispositivo de medición correspondiente. Lo que sigue se refiere a la figura 1, junto con las formas de onda de la tensión principal en la figura 2.

Una tensión 1 alterna de onda cuadrada de una amplitud determinada, se alimenta como tensión de excitación por medio del excitador 2 (V_2) en serie con un condensador C1 de bloqueo de DC, a la bobina L1 de excitación del primer núcleo toroidal T1 del sensor. De ese modo, se induce una corriente alterna de onda cuadrada en el bucle 6

en el líquido que se está midiendo, el cual está acoplado a la bobina de inducción L2 del segundo núcleo toroidal T2, y se induce una corriente alterna de onda cuadrada en la bobina L2 y se convierte en una tensión alterna de onda cuadrada por medio de un circuito 8 de entrada, el cual ha sido materializado a modo de circuito 8 convertidor de corriente en tensión (I-V). El circuito 8 convertidor de corriente en tensión (I-V) asegura que la tensión en el terminal de la bobina de inducción L2 sea cero. Mediante una amplificación 9 apropiada (suponiendo que la ganancia sea A) y una demodulación mediante un rectificador 10 síncrono, materializado a modo de desmodulador 10 síncrono (tal como una rectificación), la señal se convierte en una tensión de DC. Se debe apreciar que durante la rectificación, un circuito 11 y 12 de muestreo y retención, se activa para evitar el tiempo de transición de la corriente alterna de onda cuadrada. Esta tensión de DC, tras la rectificación, es proporcional a la conductividad del líquido.

Se debe puntualizar que la linealidad se mejora y que la influencia de las características de los núcleos toroidales y de los cables se reduce al asegurar que la tensión en el terminal de la bobina de inducción L2 es cero.

De acuerdo con el análisis que sigue basado en los principios del electromagnetismo, si la tensión de excitación es una onda cuadrada, la tensión del terminal de la bobina de inducción L2 es cero, entonces la corriente en el líquido 6 es una onda cuadrada y también lo es la corriente en la bobina de inducción L2, pero además estas corrientes son todas proporcionales a la conductividad del líquido 6, o inversamente proporcionales a la resistencia R equivalente del bucle a través del líquido. C1 es un condensador de un valor grande (por ejemplo, 33 µF) que sirve para suprimir la componente de DC en la bobina de excitación, mientras que la componente alterna de la tensión de excitación (por ejemplo, a una frecuencia de 5 kHz), puede ser considerada como cortocircuitada. De acuerdo con los principios del electromagnetismo:

Para la bobina de excitación:

$$A_L(N^2 \frac{dI_5}{dt} - N \frac{dI_6}{dt}) = V_5 - I_5 R_{L1} \quad (1)$$

Para el bucle de corriente en el líquido:

$$A_L(N \frac{dI_5}{dt} - 2 \frac{dI_6}{dt} + N \frac{dI_7}{dt}) = I_6 R \quad (2)$$

Para la bobina de inducción (siempre que la tensión del terminal sea cero):

$$A_L(N^2 \frac{dI_7}{dt} - N \frac{dI_6}{dt}) = -I_7 R_{L2} \quad (3)$$

La ecuación (3) restada de la ecuación (2), al ser multiplicada por N da:

$$A_L(N^2 \frac{dI_5}{dt} - N \frac{dI_6}{dt}) = I_6 R N + I_7 R_{L2} \quad (4)$$

Al sustituir la ecuación (1) da como resultado:

$$I_6 = (V_5 - I_5 R_{L1} - I_7 R_{L2}) \frac{I}{RN} \quad (5)$$

En estas ecuaciones, el sufijo 5 o L1 se refiere a la bobina de excitación; el sufijo 6 representa el bucle de corriente a través del líquido; el sufijo 7 o L2 se refiere a la bobina de inducción; N es el número de espiras de los arrollamientos de bobina de la bobina de excitación o de la bobina de inducción. Se supone que éstas pueden tener el mismo número de espiras. Si no es ése el caso, la fórmula es ligeramente diferente, pero en principio las fórmulas son similares. V₅ es la tensión de excitación; o si se tienen en cuenta factores no ideales, V₅ representa la tensión de excitación equivalente; A_L se refiere al núcleo toroidal, representando la inductancia de una bobina con una sola espira. R_{L1} es la resistencia de DC por el lado de excitación (bobina de excitación L1 y cable de conexión); R_{L2} es la resistencia de DC por el lado de medición (bobina de inducción L2 y cable correspondiente). Considerando que R_{L1}/N² y R_{L2}/N² son muy pequeños y que I₅R_{L1} e I₇R_{L1} pueden ser desechados en comparación con la tensión V₅, la fórmula siguiente es muy precisa:

A partir de (5):

$$I_6 \approx \frac{V_5}{RN} \quad (7)$$

A partir de (3)

5

$$I_7 \approx \frac{I_6}{N} \approx \frac{V_5}{RN^2} \quad (8)$$

O

$$R = \frac{V_5}{I_7 N^2} \quad (9)$$

10 De ese modo,

$$V_{ad} = I_7 \times R_8 \times A \quad (10)$$

15 A partir de V_{ad} se puede deducir I_7 , en donde R_8 es el coeficiente para el circuito 9 de conversión de corriente en tensión (I-V); A es la ganancia del amplificador de tensión 9. Véase la figura 3 respecto a una realización del circuito 8 de conversión de corriente en tensión (I-V).

20 De acuerdo con la fórmula (8), si se desecha el tiempo de transición, si V_5 es una onda cuadrada, entonces I_6 es una onda cuadrada; I_7 es también una onda cuadrada, y V_{ad} es también una onda cuadrada. Una onda cuadrada puede ser por lo general medida de forma más precisa que una onda seno.

25 Sin embargo, en la descripción que antecede, no se ha prestado mucha atención a la transición durante el cambio de polaridad de la onda cuadrada. De hecho, durante la transición, la situación es muy compleja, debido a la pequeña influencia del circuito de excitación, la capacitancia del cable, y también la interferencia por diafonía, características dinámicas del circuito 8 de conversión de corriente en tensión, del circuito 9 de amplificación y del circuito 10 de rectificación, tienen todas ellas un impacto sobre el comportamiento de transición, dando como resultado un exceso de activación o un exceso de amortiguación, ambas con un efecto perjudicial sobre la precisión de la medición de I_7 . Según la presente invención, se dispone un circuito 11 y 12 de rastreo y retención tras la rectificación para puentear el tiempo de transición del cambio de polaridad de la tensión alterna de onda cuadrada, lo que optimiza la precisión de la medición.

30 La figura 2 muestra las formas de onda de la tensión principal de una realización de un circuito 11 y 12 de muestreo y retención. Con la disposición corriente abajo de la rectificación, resulta muy económico utilizar un circuito de muestreo y retención para evitar el tiempo de transición del cambio de polaridad de la tensión alterna de onda cuadrada.

35 En el esquema anterior, suponiendo que R_{L1} y R_{L2} son ambas muy pequeñas, las fórmulas (8), (9) y (10) pueden ser simplificadas. Bajo condiciones normales, la precisión es bastante alta, pero cuando la resistencia de DC de las bobinas detectoras L1 y L2 y la resistencia del cable de conexión no son lo bastante pequeñas como para ser ignoradas, pueden tener influencia en la linealidad de la medición hasta un cierto grado.

40 Si R_{L1} y R_{L2} son conocidas, una fórmula más precisa es:

$$R = \frac{V_5}{I_7 N^2} - \frac{k * (R_3 + R_7)}{N^2} \quad (11)$$

45 donde $\frac{V_5}{I_7 N^2}$ es la resistencia eléctrica no corregida del bucle a través del líquido que se está midiendo, R es la

resistencia equivalente del bucle; k es el coeficiente integral cuyo valor teórico es 1, pero en la práctica es de 1 a 1,4,

con preferencia. Por ejemplo, con $k = 1,2$, el impacto del término de corrección puede ser estimado como sigue: Si $R_{L1} + R_{L2} = 5$ ohmios, $N = 120$, y con una resistencia equivalente de $R > 1$ ohmio para el bucle a través del líquido, el impacto del término de corrección es menor de un 0,05%. Y si $R_{L1} + R_{L2} = 10$ ohmios, el impacto del término de corrección es menor que un 0,1%.

Puesto el recíproco de la resistencia es la conductividad, I_7 es proporcional a V_{ad} . Si el término de corrección es extremadamente pequeño, entonces V_{ad} es proporcional a la conductividad. Si no es muy pequeño pero es no obstante desechado incluso aunque esto pueda ser inapropiado, entonces la linealidad V_{ad} y la conductividad se verán afectadas negativamente. Sin embargo, aplicando el término de corrección, la linealidad y la precisión del dispositivo de medición pueden ser restablecidas en una gran medida. Prácticamente, en casi todos los sistemas de medición, la suma de $R_{L1} + R_{L2}$ es menor de 10 ohmios o incluso menor de 5 ohmios. Puesto que el error del sistema original no es grande, el sistema es mejorado fácilmente al aplicar el término de corrección. Puesto que el error original no es grande, es suficiente con hacer una estimación aproximada de la suma $R_{L1} + R_{L2}$ y usar un número aproximado para el coeficiente integral k en la estimación.

En la figura 3, 8a es uno de los ejemplos de implementación de un circuito convertidor de corriente en tensión (I-V) como se ha presentado en la figura 1, en donde U_8 es un amplificador operacional. C_8 es un condensador de valor alto (por ejemplo, 22 μF), el cual puede ser considerado como un circuito abierto para DC y como un cortocircuito para la frecuencia de audio. Éste puede incluso evitar la saturación de la salida de U_8 provocada por el desplazamiento de tensión a la entrada de U_8 . R_8 es un resistor de realimentación; la salida de U_8 es $I_7 \times R_8$. Como la entrada negativa de U_8 es una masa virtual, su potencial (AC o DC) es siempre cero, lo que asegura que la tensión en el terminal de la bobina de inducción L_2 sea cero.

Con referencia a la forma de onda de la tensión en la figura 2, la tensión es amplificada hasta la amplitud apropiada mediante el amplificador operacional (V_9), la ganancia A está controlada por la CPU 14 de acuerdo con el rango de medición. El rectificador 10 de sincronización y la tensión 1 de excitación, están sincronizados en fase. Durante el semiciclo negativo de la tensión de excitación, la salida se invierte en relación a la entrada, mientras que en otro caso la salida y la entrada se igualan. Un temporizador 11 de muestreo y retención está sincronizado con la tensión 1 de excitación, de modo que cuando la tensión 1 de excitación se invierte, o un poco antes de la inversión, se envía una señal para la retención. Esta señal dura un cierto tiempo, lo que asegura que el tiempo de transición de la forma de onda de salida V_{10} del rectificador 10 de sincronización ha pasado por el tiempo del siguiente punto de medición. Una señal de muestreo es enviada a continuación de la señal de retención, la cual dura hasta que la semionda de la tensión de excitación ha pasado. A continuación, la tensión de excitación 1 se invierte y el temporizador 11 de muestreo y retención envía una señal de retención de nuevo. En una realización, la función del temporizador 11 de muestreo y retención puede ser realizada directamente por la CPU; en otra realización, la función del temporizador 11 de muestreo y retención puede ser también realizada por un circuito. Cuando la señal del temporizador 11 de muestreo y retención para el circuito 12 de muestreo y retención pide el muestreo, la salida y la entrada del circuito 12 de muestreo y retención se igualan; cuando la señal del temporizador 11 de muestreo y retención para el circuito 12 de muestreo y retención pide la retención, la salida del circuito 12 de muestreo y retención sigue siendo la misma que antes. La salida V_{ad} del circuito 12 de muestreo y retención se conecta a un convertidor 13 A/D. El resultado del convertidor 13 A/D representa la corriente medida en la bobina de inducción, la cual es calculada posteriormente por la CPU. Al final, el resultado final de la conductividad del líquido se muestra en el display 15 y está disponible en la salida de 4-20 mA, o en un dispositivo de alarma, o en otro dispositivo.

En las realizaciones anteriores debido a que todas las señales eficaces tienen forma de onda cuadrada, y con el circuito de muestreo y retención evitando la transición al comienzo de cada semionda, las características dinámicas del circuito de excitación, la capacitancia del cable, las características dinámicas del circuito convertidor de corriente en tensión, el circuito de amplificación y el circuito de rectificación tienen poco impacto sobre el resultado de la medición, y especialmente la longitud de los cables tiene poca influencia sobre la medición.

La figura 4 ilustra una realización del circuito de desmodulación síncrona y el circuito de muestreo y retención.

El bloque 10a representa una implementación de la desmodulación síncrona, W representa una onda cuadrada que llega desde la CPU 14, idéntica a la señal de onda cuadrada enviada al circuito de excitación. Cuando W es alta, el conmutador analógico controlado por W es conectado a "+". En ese momento, U_3 se utiliza como seguidor, lo que significa que la salida de U_3 es igual a la salida del amplificador 9 de tensión. Cuando W es baja, el conmutador analógico es conectado a "-". En ese momento, se utiliza U_3 como inversor. Con $R_2 = R_3$ (en donde R_2 y R_3 son resistores de alta precisión), la salida de U_3 es igual a la salida del amplificador de tensión 9 multiplicada por -1. El bloque 12a representa una implementación del circuito de muestreo y retención (S-H). Cuando se muestrea la señal del circuito de muestreo y retención (S-H), el conmutador analógico controlado por W es conectado a S. La salida de U_3 carga y descarga el condensador C_4 a través del resistor 4 limitador de corriente, lo que significa que la tensión en el condensador C_4 seguirá la tensión de salida de U_3 . Se utiliza U_4 como seguidor de tensión, cuya corriente de entrada es casi cero. Su tensión de salida se iguala con la tensión en el condensador C_4 . Cuando la señal para el circuito de muestreo y retención (S-H) pide la retención, el conmutador analógico respectivo es conectado a H, de modo que el resistor R_4 de carga y limitación de corriente queda abierto y la tensión en el condensador C_4 se mantiene sin cambio. La tensión de salida de U_4 se iguala con la tensión de salida del condensador C_4 . En un

ejemplo de implementación, $R1 = 30k$, $R2 = R3 = 30k$, en donde $R1$, $R2$, $R3$ son resistores de alta precisión; $R4 = 4,7k$, $C4 = 10 \text{ nF}$.

5 Las figuras 5A y 5B muestran, respectivamente, la implementación del temporizador de muestreo y retención (S-H) y su diagrama secuencial clave.

10 W es una señal de onda cuadrada que llega procedente de la CPU, que es idéntica a la señal enviada al circuito de excitación. $R5$ y $C5$ conforman un circuito de retardo que afecta por igual al borde de subida que al borde de bajada. Wd es siempre posterior a W en un período de tiempo de $R5 \times C5$. El bloque 74HC86 es una puerta OR exclusiva de 2 entradas. Si las 2 entradas son iguales, la salida es 0; si las 2 entradas no son iguales, la salida es 1. En la señal S-H descrita con anterioridad, 1 representa retención. De ese modo, al comienzo de cada semionda de la señal W de excitación, existe siempre un período de retención que va seguido de la señal de "muestra". En un ejemplo de implementación, $R5 = 24k$, $C5 = 1nF$.

15 En un ejemplo de realización, la señal W de onda cuadrada y la señal S-H proceden ambas directamente de la CPU 14. En otra realización, la CPU envía una señal de S-H usando un flip-flop del tipo 74HC74 para dividir la frecuencia por la mitad con el fin de generar una señal W de onda cuadrada.

20 En una realización, en la función anterior de desmodulación síncrona, el circuito de muestreo y retención que se utiliza para evitar el tiempo de transición y el circuito de conversión A/D pueden ser implementados mediante la siguiente solución. Con referencia a la figura 6, la tensión de salida del amplificador 9 es muestreada en un convertidor A/D 13a de alta velocidad. Tras el muestreo, la CPU aplica el método de adición y sustracción para realizar la función de desmodulación síncrona, lo que significa sumar el semiciclo positivo y restar el semiciclo negativo, y a continuación obtener el valor medio. Durante la operación, la CPU solamente muestrea los A/Ds
25 después del tiempo de transición en vez de durante el proceso completo, con el fin de evitar el tiempo de transición, y calcula la conductividad del líquido en base al resultado de la operación de adición y de sustracción usando la fórmula (9) o la (11).

30 Adicionalmente, el sensor toroidal doble y el dispositivo de medición podrían ser conectados por medio de un cable según se ha mencionado anteriormente. Puesto que la conductividad de un líquido está normalmente relacionada con su temperatura, un sensor de temperatura (PT 100, PT 1000 o NTC) se encuentra normalmente incluido en el sensor de conductividad del líquido. De ese modo, podrían existir conductores adicionales en el interior de los cables que conectan el sensor y el dispositivo de medición. Podrían existir también circuitos para la medición de la temperatura, dispuestos en el interior del dispositivo de medición, y la corrección de temperatura podría ser
35 calculada por medio de la CPU. Podrían existir dispositivos contra la pérdida de flujo magnético y la formación de cargas estáticas, dispuestos en el interior del sensor. Determinados parámetros pueden ser calibrados en relación con el sistema completo. Los principios generales respecto a estos métodos y dispositivos son también aplicables al método y al dispositivo de la presente invención.

40 Los términos, símbolos, expresiones y ejemplos usados en la descripción que antecede, no pretenden en modo alguno limitar el alcance de la invención, sino que sirven únicamente para ilustrar determinados aspectos de la invención.

Índice

45	2	circuito activador de excitación
	3	tensión de referencia
50	4	nodo de salida
	5	terminal de medición
	6	bucle a través del líquido
55	8	circuito de entrada, circuito de conversión de corriente en tensión
	10	circuito de rectificación
60	11, 12	circuito de muestreo y retención, temporizador de muestreo y retención
	C	constante de célula detectora
	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7	condensador
65	G	conductividad

ES 2 438 776 T3

	H	período de tiempo de retención
5	L1	bobina de excitación
	L2	bobina de inducción
	R	resistencia del líquido
10	R1, R2, R3, R4, R5, R6	resistor
	R7, R8, R9	resistor
15	R _{L1} , R _{L2}	resistencia
	S	periodo de tiempo de muestreo
	T1, T2	núcleo toroidal, anillo de ferrita
20	U1	amplificador operacional
	U3, U2	detector de nivel de tensión
25	Vc	suministro de potencia

REIVINDICACIONES

- 1.- Método para medir inductivamente la conductividad eléctrica de un medio fluido con un sensor, que comprende una bobina de excitación (L1) para aplicar una corriente de excitación al medio fluido y una bobina de inducción (L2) para recibir una corriente inducida generada por la corriente de excitación a través del medio fluido, comprendiendo dicho método las siguientes etapas:
- aplicar a la bobina de excitación (L1) una corriente de excitación alterna;
 - medir la corriente inducida para proporcionar una señal de medición correspondiente a la corriente inducida;
 - suministrar la señal de medición a un proceso de muestreo y retención para producir una señal de salida, en donde el proceso de muestreo y retención mantiene la señal de medición en un valor sustancialmente constante durante un período de tiempo de retención (H), el cual está sincronizado con la corriente de excitación alterna y configurado suficientemente largo como para obtener una señal sustancialmente estable y una señal que no se vea sustancialmente afectada por efectos introducidos por el cambio de dirección de la corriente alterna o por las transiciones dependientes del tiempo de la señal de medición y/o que la duración del período de tiempo de retención (H) sea aproximadamente más largo que un cuarto del período de tiempo de la corriente alterna;
 - proporcionar la señal de salida para calcular la conductividad del medio fluido.
- 2.- Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la corriente de excitación y/o la señal de medición es sustancialmente constante durante un período de tiempo sustancial, que en particular es sustancialmente una señal de onda cuadrada.
- 3.- Método de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque el inicio del período de tiempo de retención (H) es aproximadamente coincidente con el, en particular ligeramente anterior al, instante del cambio de dirección de la corriente de excitación alterna.
- 4.- Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque con anterioridad a proporcionar la señal de medición al proceso de muestreo y retención, es convertida de una tensión y/o una señal digital y/o una señal rectificadas, en particular alternando entre una adición y una substracción de la señal de medición digitalizada o invirtiendo el signo de la señal de medición digitalizada.
- 5.- Método de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado porque la señal rectificadas es rectificadas sincronamente en relación a la corriente de excitación para proporcionar al proceso de muestreo y retención una señal de medición síncrona rectificadas.
- 6.- Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el período de tiempo de retención (H) es sincronizado por medio de una señal de temporización, que se proporciona por medio de una fuente de corriente de excitación alterna o por medio de una unidad de control, la cual controla la fuente de corriente de excitación alterna.
- 7.- Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, cuyo método se lleva a cabo por inmersión de un sensor en el líquido, en el que el sensor comprende al menos dos núcleos toroidales, uno de los cuales porta una bobina de excitación y el otro porta una bobina de inducción, comprendiendo dicho método las siguientes etapas:
- generar una tensión alterna de onda cuadrada para alimentar la bobina de excitación;
 - captar la corriente de la bobina de inducción;
 - convertir la corriente en una tensión;
 - desmodular síncronamente la forma de onda de la tensión;
 - emplear un circuito de muestreo y retención para evitar el tiempo de transición de la forma de onda desmodulada;
 - realizar una conversión A/D sobre la salida del circuito de muestreo y retención; y
 - calcular la conductividad del líquido de acuerdo con el resultado de la conversión A/D.
- 8.- Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado porque la tensión en el terminal de la salida de la bobina de inducción es sustancialmente cero.
- 9.- Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado porque la etapa de calcular la

conductividad G del líquido se realiza de acuerdo con:

$$G = C/R, \text{ siendo } R = \frac{V_5}{I_7 N^2}$$

5 en donde C es la constante de la célula detectora, V_5 es la tensión de excitación, N es el número de espiras del arrollamiento de la bobina, y R es la resistencia equivalente del bucle a través del líquido.

10.- Método de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado porque la resistencia equivalente R del bucle a través del líquido (6) se corrige como:

10

$$R = \frac{V_5}{I_7 N^2} - \frac{k \times (R_{L1} + R_{L2})}{N^2}$$

15 donde R_{L1} es la Resistencia de DC de la bobina de excitación y del cable de conexión, R_{L2} es la resistencia de DC de la bobina de inducción y del cable de conexión; k es un coeficiente integral con un valor de 1 a 1,4. En una de las realizaciones, el coeficiente integral k se toma como aproximadamente 1,2.

11.- Dispositivo de medición para medir inductivamente la conductividad eléctrica de un medio fluido, conectable a un sensor, que comprende una bobina de excitación (L1) para aplicar una corriente de excitación alterna al medio fluido y una bobina de inducción (L2) para recibir una corriente inducida generada por la corriente de excitación a través del medio fluido, comprendiendo dicho dispositivo de medición un circuito (8) de entrada, el cual es conectable a la bobina de inducción (L2) y el cual proporciona una señal de medición que corresponde a la corriente inducida, caracterizado porque dicho dispositivo de medición comprende un circuito (11, 12) de muestreo y retención con una primera entrada conectada al circuito (8) de entrada para recibir la señal de medición, y con una segunda entrada para recibir una señal de temporización que corresponde a la corriente de excitación, en donde el circuito (11, 12) de muestreo y retención es operable para mantener la señal de medición en un valor sustancialmente constante durante un período de tiempo de retención (H), que es sincronizado con la señal de temporización y que está configurado lo suficientemente largo como para obtener una señal sustancialmente estable y una señal que no se vea sustancialmente afectada por los efectos introducidos por el cambio de dirección de la corriente alterna o por transiciones dependientes del tiempo de la señal de medición y/o porque la duración del período de tiempo de retención (H) es aproximadamente más larga que un cuarto del período de tiempo de la corriente alterna.

12.- Dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado porque el circuito (8) de entrada está conectado al circuito (11, 12) de muestreo y retención a través de un Convertidor Analógico/Digital (13a) y/o de un circuito (10) de rectificación, en particular un circuito (10) de rectificación síncrona para proporcionar al circuito (11, 12) de muestreo y retención la señal de medición, respectivamente como tensión y/o como una señal digitalizada y/o rectificadas y/o rectificadas síncronas.

13.- Dispositivo de medición de acuerdo con la reivindicación 11 ó 12, caracterizado porque el dispositivo de medición comprende una fuente de corriente, la cual está conectada a la bobina de excitación (L1) para aplicar la corriente de excitación alterna, y la cual está conectada al circuito (11, 12) de muestreo y retención para transmitir, en particular recibir o enviar, la señal de temporización.

14.- Sistema de medición que comprende un dispositivo de medición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13 y que comprende además un sensor de conductividad inductivo, el cual está conectado operativamente al circuito (8) de entrada, en el que el sensor está sumergido en el medio fluido, en particular en un líquido o una solución, y/o en el que cada bobina (L1, L2) del sensor es portada por un núcleo toroidal, en particular un anillo de ferrita o un anillo magnético.

45

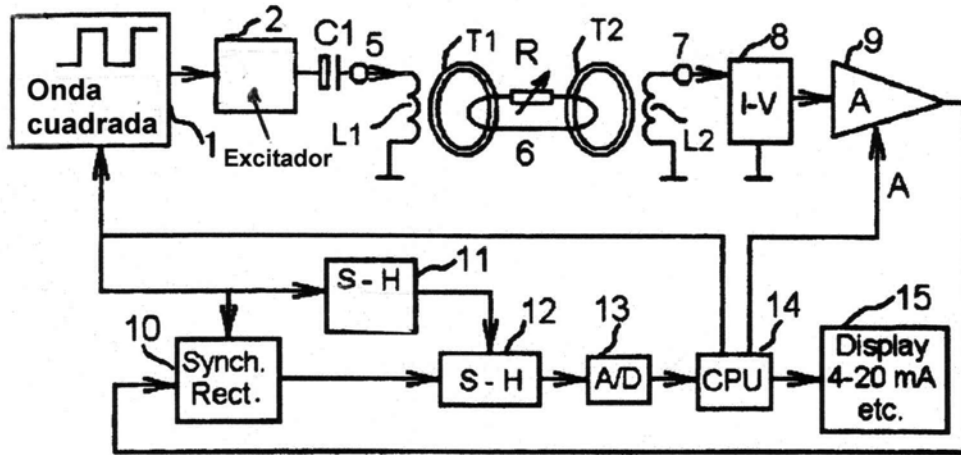


Figura 1

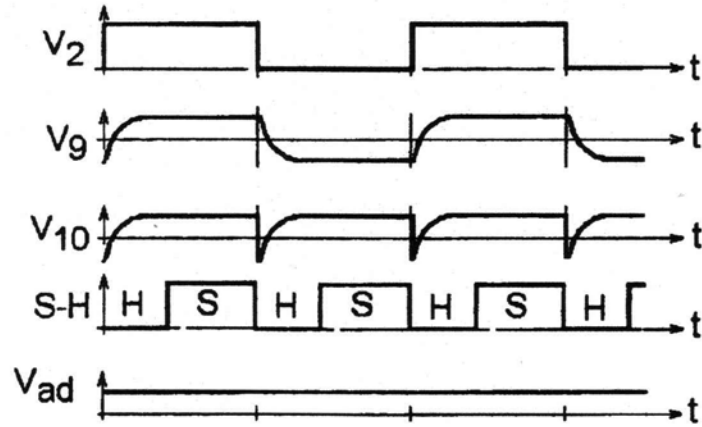


Figura 2

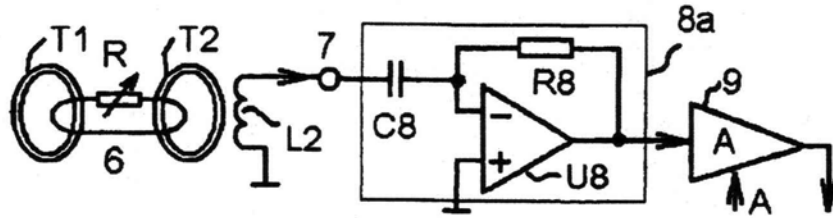


Figura 3

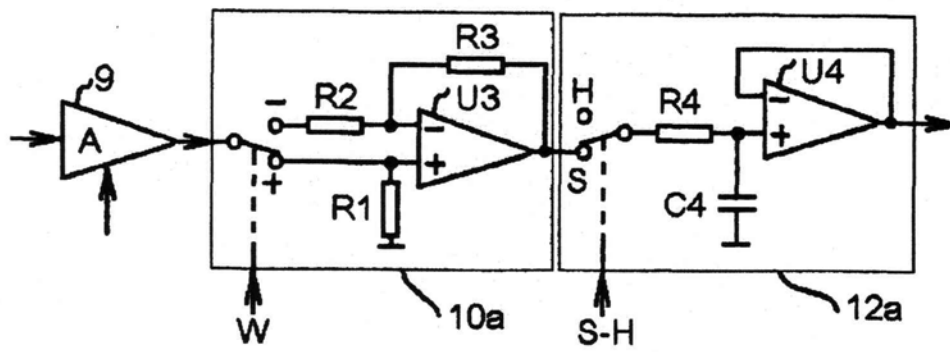


Figura 4

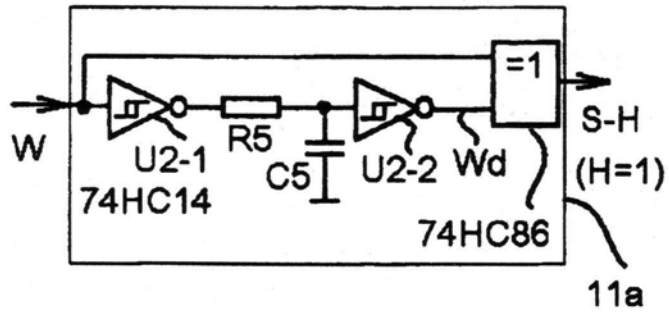


Figura 5A

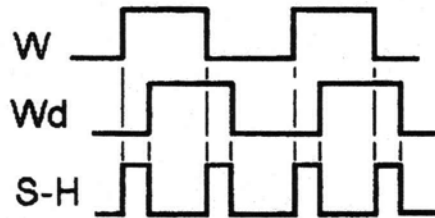


Figura 5B

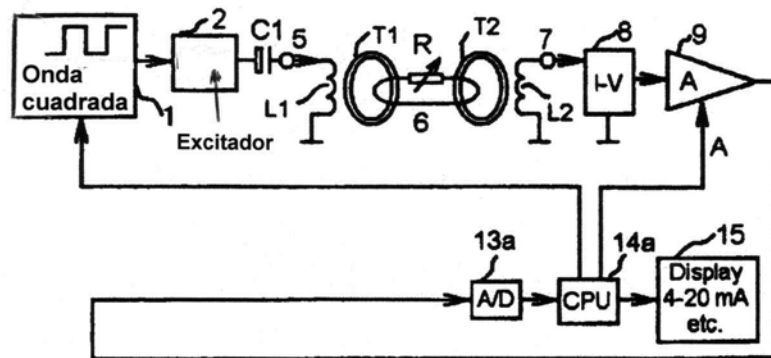


Figura 6