

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 896**

51 Int. Cl.:

G01N 27/06 (2006.01)

G01R 27/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.11.2018** **PCT/GB2018/053316**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.05.2019** **WO19097239**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2018** **E 18808076 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2024** **EP 3710818**

54 Título: **Aparato para monitorizar un fluido**

30 Prioridad:

15.11.2017 GB 201718916

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

05.12.2024

73 Titular/es:

4T2 SENSORS LTD (100.0%)
Masonic Building 9 Mill Street
Sutton Coldfield, West Midlands B72 1TJ, GB

72 Inventor/es:

SMITH, ALEXANDER EDWARD y
SWINBOURNE, MAXIM HARRY JOSEPH

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 991 896 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

Aparato para monitorizar un fluido

Campo técnico

La presente invención se refiere a un aparato y a un método para monitorizar un fluido.

5 Antecedentes

Existen diversas aplicaciones en donde es deseable monitorizar una propiedad de un fluido. Un ejemplo de aplicación es una operación de mecanizado en que se usa un fluido de corte. El fluido de corte es una emulsión de aceite y agua. Se requiere mantener una relación aceite-agua en el fluido de corte dentro de ciertos límites. Con un sistema de detección se mide la relación aceite-agua en el fluido de corte y se hace un ajuste a la relación en base a la medición.

10 Una manera conocida de medir una propiedad de un fluido es mediante tecnología óptica. Una fuente óptica emite una señal óptica en una muestra de fluido y un detector óptico puede determinar el índice de refracción, o alguna otra propiedad óptica, de la muestra de fluido. Otra manera conocida de medir una propiedad de un fluido es mediante tecnología de radiofrecuencia (RF), tal como un detector que opera en la banda de frecuencia de microondas.

15 Otra manera de medir una propiedad de un fluido es mediante un sistema de detección eléctrica, usando un detector capacitivo. En el documento US 2010/018811 A1 se describe un aparato para la medición de la conductividad eléctrica y la constante dieléctrica de un aceite lubricante o un combustible. El aparato proporciona dos circuitos de medición distintos para la medición de la conductividad y la medición de la constante dieléctrica. En el documento US 2004/0012399 A1 se describe un aparato para medir la impedancia compleja de un combustible. En ambos, el fluido sometido a prueba es un fluido de alta impedancia.

20 Un sistema de detección eléctrica normalmente solo actúa con fluidos de alta impedancia, es decir, fluidos con una conductividad relativamente baja. Por lo tanto, en aplicaciones con fluidos de alta conductividad, tales como la aplicación de fluido de corte descrita antes es normal usar tecnología óptica o de RF para monitorizar el fluido. Esto aumenta el coste del aparato de monitorización.

25 En el documento US 2015/002178 A1 se describe un aparato para medir propiedades eléctricas de líquidos. En el documento US 2012/197566 A1 se describe instrumentación para la medición de capacitancia y resistencia a valores de resistencia altos.

Es un objetivo de la presente invención abordar las desventajas asociadas con la técnica anterior.

Sumario de la invención

En un aspecto se proporciona un aparato según la reivindicación 1.

30 La señal de diferencia compleja comprende una relación de la señal de detección y la señal de accionamiento/referencia. La señal de detección puede representarse como un número complejo con una componente en fase y una componente en cuadratura. La señal de accionamiento puede representarse como un número complejo con una componente en fase y una componente en cuadratura. La señal de diferencia compleja obtenida por una relación de la señal de detección y la señal de accionamiento también puede representarse como un número complejo
35 con una componente de diferencia en fase y una componente de diferencia en cuadratura. La señal de diferencia compleja puede representar (i) una diferencia de fase entre la señal de detección y la señal de accionamiento/referencia y (ii) una magnitud igual a una relación de las magnitudes de la señal de detección y la señal de accionamiento/referencia.

40 Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para determinar una componente en fase de la señal de detección y una componente de cuadratura de la señal de detección.

Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para determinar la componente en fase de la señal de detección y la componente de cuadratura de la señal de detección mediante una operación de filtrado promediado realizada sobre una pluralidad de ciclos de la señal de accionamiento alterna.

45 Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para determinar una componente en fase de la señal de accionamiento y una componente de cuadratura de la señal de accionamiento.

Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para determinar una componente en fase de la señal de accionamiento y una componente de cuadratura de la señal de accionamiento mediante una operación de filtrado promediado realizada sobre una pluralidad de ciclos de la señal de accionamiento alterna.

Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para:

- determinar la componente en fase de la señal de detección y la componente en cuadratura de la señal de detección mediante una operación de filtrado promediado realizada sobre una pluralidad de ciclos de la señal de accionamiento alterna;
- 5 determinar una componente en fase de la señal de accionamiento y una componente en cuadratura de la señal de accionamiento mediante una operación de filtrado promediado realizada sobre una pluralidad de ciclos de la señal de accionamiento alterna;
- determinar la componente de diferencia en fase basándose en la componente en fase filtrada de la señal de detección y la componente en fase filtrada de la señal de accionamiento; y
- 10 determinar la componente de diferencia de cuadratura basándose en la componente de cuadratura filtrada de la señal de detección y la componente de cuadratura filtrada de la señal de accionamiento.
- Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para usar la componente de diferencia en fase y la componente de diferencia de cuadratura en un modelo algorítmico del aparato para determinar la constante dieléctrica del fluido, en donde el modelo algorítmico incluye al menos un elemento parasitario del aparato.
- 15 Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para usar la componente de diferencia en fase y la componente de diferencia de cuadratura en un modelo algorítmico del aparato para determinar la conductividad del fluido, en donde el modelo algorítmico incluye al menos un elemento parasitario del aparato.
- Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para comparar la componente de diferencia en fase y la componente de diferencia de cuadratura con una pluralidad de valores de datos compensados almacenados para determinar la constante dieléctrica del fluido, en donde los valores de datos compensados almacenados compensan un efecto de al menos un elemento parasitario del aparato.
- 20 Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para comparar la componente de diferencia en fase y la componente de diferencia de cuadratura con una pluralidad de valores de datos compensados almacenados para determinar la conductividad del fluido, en donde los valores de datos compensados almacenados compensan un efecto de al menos un elemento parasitario del aparato.
- 25 Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para medir al menos una propiedad de un fluido con una conductividad de hasta 200 mS/m.
- Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para muestrear la señal de detección a una frecuencia de muestreo, y una frecuencia de la señal de accionamiento de corriente alterna es mayor que la frecuencia de muestreo.
- 30 Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para:
- proporcionar un oscilador digital con una salida de oscilador en fase y una salida de oscilador en cuadratura;
 - proporcionar un bucle con bloqueo de fase que está configurado para usar la salida del oscilador en fase y la salida del oscilador en cuadratura para lograr la sincronización entre la señal de accionamiento y el oscilador digital.
- Opcionalmente, el bucle con bloqueo de fase es un bucle de Costas.
- 35 Opcionalmente, el aparato de procesamiento está configurado para usar la salida del oscilador en fase y la salida del oscilador en cuadratura para procesar la señal de detección cuando se ha logrado un estado de sincronización bloqueada.
- Opcionalmente, el aparato comprende un convertidor analógico-digital y el aparato de procesamiento está configurado para:
- 40 muestrear la señal de detección en un primer momento y muestrear la señal de accionamiento en un segundo momento que está desfasado del primer momento; y
- aplicar un factor de corrección a las señales muestreadas para corregir los tiempos de desfase en que se muestrearon las señales.
- 45 Opcionalmente, el elemento parasitario es inductancia de conductor. La inductancia del conductor es la inductancia de uno o más de los siguientes: un conductor que conecta el generador de señal de accionamiento al detector de fluido capacitivo; un conductor que conecta el detector de fluido capacitivo al aparato de procesamiento.
- Opcionalmente, la etapa de procesamiento es una etapa de procesamiento de señales digitales.
- Opcionalmente, el aparato comprende un detector de temperatura, y el aparato de procesamiento está configurado para:

determinar la temperatura del fluido;

determinar la conductividad usando la temperatura determinada.

Opcionalmente, el detector de fluido capacitivo está configurado para monitorizar un fluido que fluye, en donde el primer electrodo y el segundo electrodo definen un canal de flujo de fluido entre los electrodos.

- 5 Opcionalmente, el primer electrodo es un electrodo tubular y el segundo electrodo está ubicado dentro del primer electrodo.

El aparato de procesamiento puede configurarse para recibir la señal de accionamiento alterna directamente desde la fuente de señal alterna, o desde algún otro nodo que sea externo al detector de fluido capacitivo. Esto proporciona al aparato de procesamiento una señal que es indicativa de la señal de accionamiento. El aparato de procesamiento
10 puede usar la señal de accionamiento para la comparación con la señal de detección para determinar el efecto del fluido sobre el detector de fluido capacitivo.

Otro aspecto proporciona un aparato de procesamiento para medir al menos una propiedad de un fluido, estando configurado el aparato de procesamiento para:

recibir una señal de detección de un detector de fluido capacitivo;

- 15 recibir una señal de accionamiento alterna que se ha aplicado al detector de fluido capacitivo;

determinar una señal de diferencia compleja que comprende una componente de diferencia en fase entre la señal de accionamiento y la señal de detección y una componente de diferencia de cuadratura entre la señal de accionamiento y la señal de detección;

- 20 determinar al menos una propiedad del fluido basándose tanto en la componente de diferencia de fase en fase como en la componente de diferencia de cuadratura de la señal de diferencia compensando un efecto sobre la señal de diferencia compleja debido a al menos un elemento parasitario del aparato.

Otro aspecto proporciona un método para medir al menos una propiedad de un fluido, comprendiendo el método:

recibir una señal de detección de un detector de fluido capacitivo;

recibir una señal de accionamiento alterna que se ha aplicado al detector de fluido capacitivo;

- 25 determinar una señal de diferencia compleja que comprende una componente de diferencia en fase entre la señal de accionamiento y la señal de detección y una componente de diferencia de cuadratura entre la señal de accionamiento y la señal de detección;

- 30 determinar al menos una propiedad del fluido en base tanto a la componente de diferencia de fase en fase como a la componente de diferencia de cuadratura de la señal de diferencia compensando un efecto sobre la señal de diferencia compleja debido a al menos un elemento parasitario del aparato.

Otro aspecto proporciona un producto de programa informático que comprende un medio legible por máquina que lleva instrucciones que, cuando se ejecutan por un procesador, hacen que el procesador realice el método definido antes o descrito en el presente documento.

- 35 Otro aspecto proporciona un aparato para medir al menos una propiedad de un fluido, comprendiendo el aparato un aparato de procesamiento configurado para:

recibir una señal de detección de un detector de fluido capacitivo;

recibir una señal de accionamiento alterna que se ha aplicado al detector de fluido capacitivo;

- 40 determinar una señal de diferencia compleja que comprende una componente de diferencia en fase entre la señal de accionamiento y la señal de detección y una componente de diferencia de cuadratura entre la señal de accionamiento y la señal de detección;

determinar al menos una propiedad del fluido basándose tanto en la componente de diferencia de fase en fase como en la componente de diferencia de cuadratura de la señal de diferencia compensando un efecto sobre la señal de diferencia compleja debido a al menos un elemento parasitario del aparato.

- 45 Una ventaja de al menos un ejemplo es que es posible medir la constante dieléctrica para fluidos con una alta conductividad. Convencionalmente, no ha sido posible medir la constante dieléctrica de un fluido de alta conductividad usando un detector capacitivo ya que el efecto del fluido sobre un detector capacitivo se ha considerado demasiado pequeño para medir con precisión. También, los elementos parasitarios del aparato pueden contribuir a la señal medida, y pueden enmascarar una señal aportada por el detector capacitivo. Esto hace difícil medir una aportación del detector capacitivo.

La pérdida dieléctrica del fluido es función de su conductividad. Por lo tanto, también es posible hacer mediciones de conductividad de alta resolución sin la necesidad de electrodos de platino.

Una señal de frecuencia alterna de radiofrecuencia relativamente baja (por ejemplo, <10 MHz), junto con el procesamiento de señal digital, permite hacer mediciones usando componentes fácilmente disponibles de bajo coste.

- 5 En un aspecto de la invención, se proporciona una máquina de corte para realizar una operación de corte que comprende un aparato según un aspecto de la invención configurado para medir al menos una propiedad de un fluido de corte empleado en la operación de corte.

El fluido de corte puede comprender una emulsión de aceite en agua.

- 10 Opcionalmente, el aparato está configurado para proporcionar una salida dependiendo de una proporción aceite-agua en el fluido de corte.

La máquina de corte puede configurarse automáticamente para aumentar la proporción de agua en el fluido de corte cuando la proporción de agua está fuera de un límite requerido.

Una planta química que comprende un aparato según un aspecto de la presente invención configurado para medir al menos una propiedad de un fluido.

- 15 Una planta de fabricación o procesamiento de fluidos que comprende un aparato según un aspecto de la presente invención configurado para medir al menos una propiedad de un fluido.

Opcionalmente, el fluido es cerveza, whisky o un biocombustible.

Una máquina que comprende un aparato según un aspecto de la presente invención configurado para medir al menos una propiedad de un lubricante de la máquina.

- 20 Opcionalmente, el lubricante es aceite de caja de engranajes.

- La funcionalidad descrita en este caso puede implementarse en *hardware*, *software* ejecutado por un aparato de procesamiento o por una combinación de *hardware* y *software*. El aparato de procesamiento puede comprender un ordenador, un procesador, una máquina de estado, una matriz lógica o cualquier otro aparato de procesamiento adecuado. El aparato de procesamiento puede ser un procesador de propósito general que ejecuta *software* para conseguir que el procesador de propósito general realice las tareas requeridas, o el aparato de procesamiento puede estar dedicado a realizar las funciones requeridas. Otro aspecto de la invención proporciona instrucciones legibles por máquina (*software*) que, cuando se ejecutan por un procesador, realizan cualquiera de los métodos descritos. Las instrucciones legibles por máquina pueden almacenarse en un dispositivo de memoria electrónica, disco duro, disco óptico u otro medio de almacenamiento legible por máquina. El medio legible por máquina puede ser un medio legible por máquina no transitorio. El término «medio legible por máquina no transitorio» comprende todos los medios legibles por máquina excepto una señal de propagación transitoria. Las instrucciones legibles por máquina pueden descargarse al medio de almacenamiento a través de una conexión de red.
- 25
- 30

- 35 Dentro del alcance de esta solicitud se contempla que los diversos aspectos, realizaciones, ejemplos y alternativas, y, en particular, los rasgos individuales de estos, expuestos en los párrafos precedentes, en las reivindicaciones y/o en la siguiente descripción y dibujos, pueden tomarse independientemente o en cualquier combinación. Por ejemplo, los rasgos descritos en relación con una realización son aplicables a todas las realizaciones, a menos que dichos rasgos sean incompatibles.

- 40 Para evitar dudas, debe entenderse que los rasgos descritos con respecto a un aspecto de la invención pueden incluirse dentro de cualquier otro aspecto de la invención, solos o en combinación apropiada con uno o más rasgos diferentes.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán una o más realizaciones de la invención, a modo de ejemplo solamente, con referencia a las figuras adjuntas en donde:

En la figura 1 se muestra un sistema para monitorizar un fluido.

- 45 En la figura 2 se muestra un extremo frontal del sistema, mostrando componentes analógicos.

En la figura 3A se muestra la impedancia de la celda detectora y el conductor en el sistema de la figura 1.

En la figura 3B se muestra la admitancia de la celda detectora y el conductor en el sistema de la figura 1.

En la figura 4 se muestra el procesamiento de señales en el sistema de la figura 1.

En la figura 5 se muestra una etapa de procesamiento de señal para la señal detectada.

En la figura 6 se muestra una etapa de procesamiento de señal para la señal de referencia, y para sincronización.

En la figura 7 se muestra muestreo analógico-digital.

En la figura 8 y la figura 9 se muestran impedancias en el sistema.

En la Figura 10 se muestra un gráfico de capacitancia frente a conductividad para un fluido de prueba.

5 En la Figura 11 se muestra un conjunto de curvas que pueden usarse para correlacionar componentes en fase y en cuadratura con constante dieléctrica y conductividad.

En la Figura 12 se muestran datos para ilustrar componentes en fase y en cuadratura que varían con las propiedades del fluido.

En la figura 13 se muestra un aparato de procesamiento.

10 En la figura 14 se muestra un detector de fluido de ejemplo.

Descripción detallada

En la figura 1 se muestra un sistema 100 para monitorizar un fluido, tal como un líquido o un gas. El sistema 100 comprende una celda 110 detectora de fluido. En la figura 1 se muestra un ejemplo de una celda 110 detectora de fluido que está configurada para monitorizar un fluido que fluye. La celda 110 detectora de fluido es una forma de
15 detector capacitivo. El detector tiene un primer electrodo 111 exterior y un segundo electrodo 112 interior. El electrodo 111 exterior es tubular. El electrodo 112 interior es una varilla cilíndrica. Los electrodos 111, 112 son coaxiales. Un canal 113 de flujo de fluido está definido en la región entre los electrodos 111, 112. El fluido puede fluir a lo largo del canal 113 de flujo de fluido. Esto permite hacer mediciones sin necesidad de interrumpir un proceso en que se use el fluido. Por ejemplo, en la aplicación de la medición de un fluido de corte, el fluido de corte (o una porción del fluido de corte) puede dirigirse a través del canal 113 de flujo. La celda 110 detectora puede tener una configuración diferente. Por ejemplo, un par de electrodos lineales separados (varillas, placas u otra forma). En caso de monitorizar un fluido estático, la celda 110 detectora no tiene que incluir un canal de flujo.

El detector 110 capacitivo tiene dos propiedades principales: (i) capacitancia; (ii) conductancia. Estas propiedades variarán según el tipo de fluido entre los electrodos 111, 112. La capacitancia del detector es la capacitancia del detector para almacenar carga eléctrica. La capacitancia varía según la permitividad del material dieléctrico entre los electrodos 111, 112 del condensador. Un material dieléctrico con una constante dieléctrica alta (es decir, un buen aislante) aumentará la capacitancia. La conductancia es el flujo de carga entre los electrodos, a través del material dieléctrico entre los electrodos 111, 112. La conductancia también depende de las propiedades del material dieléctrico entre los electrodos 111, 112 del condensador. Un fluido de alta impedancia provocará una pequeña conductancia entre los electrodos 111, 112. Un fluido de baja impedancia dará una conductancia más alta entre los electrodos 111, 112. Para cada una de estas propiedades, el material dieléctrico es el fluido entre los electrodos 111, 112.

Un generador 120 de señales de accionamiento genera una señal de accionamiento. La señal de accionamiento es una señal eléctrica de corriente alterna a una frecuencia adecuada. La señal de accionamiento se aplica a la celda 110 detectora de fluido. La señal de accionamiento puede aplicarse al electrodo 112 interior, con el electrodo 111 exterior conectado a una tierra de referencia. En un ejemplo de la presente solicitud, la señal eléctrica de corriente alterna tiene una frecuencia que está en el intervalo de baja radiofrecuencia (RF), de menos de 10 MHz, tal como 5.05 MHz. El generador 120 de señal de accionamiento puede implementarse mediante un circuito integrado de síntesis digital directa que alimenta un amplificador operacional de banda ancha. La síntesis digital directa es una técnica que genera una señal analógica sinusoidal usando una secuencia de valores digitales que representan la amplitud de la señal en puntos en el tiempo. Los valores digitales se convierten en una señal analógica mediante un convertidor digital-analógico. Los valores digitales requeridos para generar la señal pueden almacenarse, y recuperarse de la memoria, o calcularse sobre la marcha usando un algoritmo.

Una etapa 130 de procesamiento de señal se implementa, por ejemplo, mediante un microcontrolador 200. En la etapa 130 de procesamiento de señal se recibe una señal eléctrica alterna, «DETECCIÓN», de la celda 110 detectora de fluido. La señal de accionamiento aplicada a la celda 110 detectora de fluido se modificará por las propiedades del fluido en la celda 110 detectora de fluido. «DETECCIÓN» es indicativa del fluido. En la etapa 130 de procesamiento de señal también se recibe la señal de accionamiento como una señal «ACCIONAMIENTO» o «REF». Es posible suministrar la señal de accionamiento conectando directamente una salida del generador 120 de señal de accionamiento a la etapa 130 de procesamiento. Alternativamente, la señal de accionamiento puede tomarse desde un punto diferente, «REF», en el sistema como se describe más adelante.

En la figura 2 se muestra un esquema del extremo frontal del sistema 100, que muestra componentes de dominio analógico. La celda 110 detectora puede representarse como una red de circuito equivalente con una capacitancia C en paralelo con una resistencia R. El valor de C en esta red está determinado por la constante dieléctrica y R es una función de la conductividad del fluido. C_{bloqueo} es un condensador de bloqueo de CC. C_{bloqueo} es grande (>10 nF) en

comparación con la capacitancia de la celda 110 detectora para garantizar que no haya polarización de CC en el fluido. Una polarización de CC puede provocar un chapado electrolítico no deseado de los electrodos 111, 112.

La impedancia del circuito equivalente de la celda 110 detectora (R y C en paralelo) puede expresarse como:

$$Z = \left[\frac{1}{R} + j\omega C \right]^{-1}$$

5 donde ω es 2π x la frecuencia de la señal de accionamiento.

R_s y Z forman un divisor de potencial y la tensión a través de Z es la señal de realimentación del detector principal «DETECCIÓN». Z es una impedancia compleja. L_s es inductancia de conductor desde las conexiones a la celda 110 detectora. L_s también contribuye (significativamente) a la fase y la amplitud de «DETECCIÓN». L_s es un elemento parasitario del aparato.

10 En la figura 3A se muestra una impedancia compleja de una combinación de la celda 110 detectora y el(los) conductor(es) cuando se miden fluidos con conductividades altas. Esto se describirá con todo detalle más adelante, pero, en resumen, la impedancia compleja de la celda 110 detectora y el conductor tiene una componente en fase/real y una componente en cuadratura/imaginaria. La componente en fase/real se debe a la resistencia de la celda detectora y el conductor. La componente de cuadratura/imaginaria se debe principalmente a la capacitancia de la celda detectora y la inductancia del conductor. En la figura 3B se muestra la admitancia compleja correspondiente, donde la admitancia es el recíproco de la impedancia, $Y = 1/Z$. A partir de la figura 3A y la figura 3B se puede observar que es difícil observar la contribución a la impedancia compleja hecha por la celda C detectora capacitiva, que representa el fluido bajo prueba. La contribución capacitiva deseada está enmascarada por la contribución inductiva parasitaria no deseada. Los principales efectos parasitarios que necesitan compensarse son la inductancia del conductor y la capacitancia de entrada del convertidor analógico-digital (ADC) usado para medir las señales.

En la figura 4 se muestra la etapa 130 de procesamiento de señales. Un multiplexor MUX 140 recibe «DETECCIÓN» y «ACCIONAMIENTO»/«REF» como entradas y emite selectivamente una de las señales de entrada a un convertidor 150 analógico-digital (ADC). El ADC 150 emite valores digitales. Las salidas del ADC 150 se aplican a una etapa 160 de procesamiento de dominio digital. En una etapa 161 de procesamiento se determinan componentes en fase (real) y en cuadratura (imaginaria) de la señal de detección «DETECCIÓN». Estas se denominarán $Cs(I)$ y $Cs(Q)$, respectivamente. En una etapa 162 de procesamiento se determinan componentes en fase (real) y en cuadratura (imaginaria) de la señal de accionamiento/referencia. Estas se denominarán $Cr(I)$ y $Cr(Q)$, respectivamente. En las etapas 161, 162 de procesamiento se realiza análisis de Fourier. La etapa 163 incluye un oscilador digital local, y adquiere sincronización entre el oscilador digital local y la señal de accionamiento. En la etapa 163 se envían señales en fase (I) y en cuadratura (Q) a las etapas 161 y 162. Estas salidas se etiquetan DO (I), DO (Q). En una etapa 164 de procesamiento se determinan componentes en fase (real) y en cuadratura (imaginaria) de una señal de diferencia entre la señal «DETECCIÓN» de detección y la señal de accionamiento/referencia. La señal de diferencia representa una diferencia, en términos de amplitud y fase, entre la señal de accionamiento aplicada a la celda 110 detectora y la señal a través de la celda 110 detectora debida al fluido. Una etapa 165 de procesamiento determina las propiedades del fluido. En la etapa 165 se determina la capacitancia (constante dieléctrica) del fluido usando los valores I y Q de la señal de diferencia. En la etapa 165 también se puede determinar la resistencia (conductividad) del fluido usando los valores I y Q de la señal de diferencia.

La salida de la etapa 164 representa la impedancia medida en el ADC 150, sujeto a una transformación causada por propiedades parasitarias del sistema. La salida consiste en dos números correspondientes a las salidas real (en fase, I) e imaginaria (cuadratura, Q) del análisis de Fourier. Hay varias fuentes de propiedades parasitarias del sistema. La inductancia L_s del conductor (figura 2) está presente como propiedad de los cables que conectan con el detector. Tiene el efecto de introducir una componente imaginaria que es una función tanto de la frecuencia como de la conductividad. Su contribución a los componentes imaginarios de las mediciones es mayor que los cambios en la capacitancia (debido al fluido) que se están midiendo. El ADC 150 tiene una capacitancia de entrada parasitaria que también provoca un desplazamiento de fase finito. El desplazamiento de fase provocado por el ADC será una función de la impedancia de salida de «DETECCIÓN».

En la figura 5 se muestra la etapa 161 del procesamiento 160 de dominio digital con más detalle. Las muestras de la señal digitalizada «DETECCIÓN» se reciben en una entrada 170. El procesamiento avanza en dos brazos: un brazo en fase y un brazo en cuadratura. En el brazo en fase, «DETECCIÓN» se multiplica 171 por una salida en fase (I) de un oscilador digital, DO (I). Una salida de la multiplicación se aplica a un filtro 173 de paso bajo. Una salida 175 del filtro 173 de paso bajo proporciona una componente en fase (I) de la señal «DETECCIÓN», denominada $Cs(I)$. En el brazo de cuadratura, «DETECCIÓN» se multiplica 172 por una componente de cuadratura (Q) de un oscilador digital, DO (Q). Una salida de la multiplicación se aplica a un filtro 174 de paso bajo. Una salida 176 del filtro 174 de paso bajo proporciona una componente de cuadratura (Q) de la señal «DETECCIÓN», denominada $Cs(Q)$. Cada uno de los filtros 173, 174 de paso bajo puede implementarse como un filtro digital de respuesta infinita al impulso (IIR). Cada uno de los filtros 173, 174 de paso bajo tiene una función de promediado de tiempo sobre valores de muestra aplicados a una entrada del filtro. Como ejemplo, el filtro puede realizar un promedio «móvil» en los valores de entrada. Considérese que el filtro tiene una entrada x y una salida x0. En cada ciclo de cálculo:

$$X0 = (x0 \text{ previo}) * 0.999 + 0.001 * x$$

En este ejemplo simple, los valores de los coeficientes de filtro son 0.999 y 0.001, sumando los dos coeficientes 1. Se entenderá que el filtro digital puede realizar un algoritmo diferente con diferentes valores de coeficiente y/o un mayor número de etapas de cálculo. Los filtros 173, 174 de paso bajo pueden hacer posible la determinación de un valor de la componente I o Q con un alto grado de precisión, calculando un valor sobre un número significativo de cálculos. Por ejemplo, el valor de salida del filtro puede calcularse sobre varios miles de ciclos de la señal de accionamiento «DETECCIÓN». La etapa 161 permite que el circuito se sintonice en la señal de entrada dentro de una banda de frecuencia muy estrecha y produce dos resultados de salida que representan el tamaño de las componentes en fase (real) y en cuadratura (imaginaria) de la señal de entrada. La reducción del ancho de banda da una resolución de nivel de subcuantificación muy precisa.

Con referencia de nuevo al sistema de ejemplo de la figura 1, el microcontrolador 200 y el generador 120 de señal de accionamiento pueden implementarse como circuitos integrados separados. Esto significa que el generador 120 de señal de accionamiento y el microcontrolador 200 tendrán cada uno un oscilador local separado (reloj) que operará a una velocidad y/o precisión diferentes. Esto también significa que la señal de accionamiento es asíncrona para el procesamiento 130 de señal. La amplitud y la fase de «ACCIONAMIENTO» se tratan inicialmente como desconocidas por el procesamiento 130 de señales.

En la figura 4 y la figura 6 se muestra una etapa 163 adicional que puede sincronizarse con «REF». Con referencia a la figura 6, el circuito 163 es un bucle de Costas. Un bucle de Costas es una forma de bucle con bloqueo de fase que puede bloquearse digitalmente en la señal de accionamiento («ACCIONAMIENTO» o «REF»). Una entrada 180 recibe la señal «ACCIONAMIENTO» que representa la señal de accionamiento. Un oscilador 181 digital emite dos flujos de datos que representan dos ondas sinusoidales: una en fase (Cos) y otra en cuadratura (Sin) a la señal de accionamiento. Cada señal se multiplica 182, 183 por «REF». Las salidas de la multiplicación se filtran 184, 185 en paso bajo. Las salidas respectivas de cada filtro 184, 185 de paso bajo se multiplican entre sí 187 y se aplican a un filtro 186 de paso bajo. Una salida del filtro 186 de paso bajo se aplica como una señal de control al oscilador 181. El circuito de la figura 6 realiza dos funciones: (i) consigue la sincronización entre el oscilador digital y la señal de accionamiento/referencia «REF»; (ii) determina la componente en fase y una componente en cuadratura de la señal de accionamiento/referencia «REF».

Multiplicando las partes tanto real como imaginaria de la señal de oscilador digital por la señal de accionamiento entrante «REF» e integrándose sobre un número de muestras se obtienen los coeficientes de Fourier reales e imaginarios de la señal de accionamiento a esa frecuencia. Si la señal de accionamiento está en fase y es de igual frecuencia (es decir, una condición de bloqueo), entonces el coeficiente de Fourier real debe ser 0.5 y el coeficiente imaginario debe ser 0. En la práctica, habitualmente existe una diferencia entre las señales, tal como la señal de accionamiento que conduce o retarda el oscilador digital. Es posible determinar si la señal de accionamiento/referencia «REF» conduce o retarda el oscilador digital mirando el valor de la parte imaginaria. Se aplica una corrección apropiada al oscilador 181 digital (es decir, avanzando o retrasando el oscilador 181 digital) hasta que se logra una condición de bloqueo. De ese modo, el oscilador 181 digital sigue la señal de accionamiento/referencia entrante «REF» y hace automáticamente ajustes debido a la deriva del reloj. Una vez bloqueado, el mismo bucle de control mantiene una condición bloqueada. Las salidas 191, 192 del oscilador 181 digital se usan como las entradas DO (I) y DO (Q) a la etapa 161 de procesamiento. Una salida del filtro 184 de paso bajo proporciona una componente en fase de la señal de accionamiento/referencia «REF», denominada Cr (I). Una salida del filtro 185 de paso bajo proporciona una componente de cuadratura de la señal de accionamiento/referencia «REF», denominada Cr (Q).

En la figura 7 se muestra la operación del ADC 150. En un ejemplo de la presente invención, el ADC opera a una frecuencia de muestreo que es menor que una frecuencia de la señal de accionamiento/referencia «REF», y, por lo tanto, menor que una frecuencia de la señal «DETECCIÓN» recibida de la celda de detector. En la figura 7 se muestra la señal «DETECCIÓN» 301 y los puntos 302 de muestreo. La señal resultante, después del muestreo, tiene una frecuencia que es una diferencia entre la señal de entrada y la frecuencia de muestreo. Por ejemplo, si la señal 301 tiene una frecuencia de 1.05 MHz y la frecuencia de muestreo es 1.0 MHz, la señal muestreada tiene una frecuencia de 50 kHz. La teoría de muestreo convencional recomienda una frecuencia de muestreo que es al menos el doble de la frecuencia más alta en la señal muestreada para evitar solapamiento. En el ejemplo ilustrado, se produce solapamiento, ya que la señal en los datos muestreados/convertidos aparecerá como una onda sinusoidal mucho más baja. Sin embargo, la fase y la amplitud de la señal original se preserva en la señal muestreada y corresponde a la fase y la amplitud de la señal de accionamiento. Al usar una señal de salida que tiene una frecuencia más baja que la de la señal original (por ejemplo, 50 kHz en comparación con 1.05 MHz) es posible procesar la señal en el dominio digital usando menos recursos computacionales.

A continuación, se describirán tres formas alternativas de procesamiento en el dominio digital. En un primer método, se usa un modelo matemático del aparato para estimar directamente los valores de capacitancia (constante dieléctrica) y resistencia (conductividad) a partir de los valores medidos en fase y en cuadratura de la señal de diferencia. En un segundo método, los valores medidos en fase y en cuadratura de la señal de diferencia se aplican a una tabla de búsqueda para obtener valores de salida de capacitancia (constante dieléctrica) y resistencia (conductividad). En un tercer método, los valores medidos en fase y en cuadratura se correlacionan para un conjunto almacenado de curvas

que representan capacitancia (constante dieléctrica) y resistencia (conductividad). Un ajuste óptimo entre los valores I , Q medidos y una de las curvas representa la capacitancia (constante dieléctrica) y la resistencia (conductividad).

En cada uno de los métodos se pueden usar las mismas etapas iniciales de procesamiento de señal. Las etapas 161, 162 de procesamiento de señal suministran valores que representan dos números complejos:

- 5 representando c_s la fase y la magnitud de la señal de detección, «DETECCIÓN». c_s comprende una componente en fase (real) $c_s(I)$ y una componente en cuadratura (imaginaria) $c_s(Q)$.

representando c_r la fase y la magnitud de la señal de referencia (es decir, la señal de accionamiento, «ACCIONAMIENTO»/«REF»). c_r comprende una componente en fase (real) $c_r(I)$ y una componente $c_r(Q)$ en cuadratura (imaginaria).

- 10 La división de las dos mediciones $[c_s/c_r]$ complejas da una cantidad que es independiente de la tensión de alimentación o variación de tensión de referencia del ADC. Realizar esta operación también tiene el efecto de que, si el oscilador 181 digital retarda o conduce la señal de accionamiento incluso en una pequeña cantidad, se eliminan los desplazamientos de fase resultantes. Esto se debe a que el error se aplicaría igualmente tanto a señales de accionamiento como de detección, es decir, un error de modo común.

- 15 La etapa 164 de procesamiento determina la señal de diferencia. La realización de la división $[c_s/c_r]$ da:

- (i) la diferencia de fase entre la señal de detección y la señal de accionamiento/referencia;
- (ii) una magnitud igual a una relación de las magnitudes de la señal de detección y la señal de accionamiento/referencia.

- 20 También debe observarse que el aparato mostrado en la figura 4 con un único ADC 150 y un multiplexor 140 significa que las señales de detección y referencia no se muestrean simultáneamente. Por lo tanto, es necesario multiplicar la relación c_s/c_r por otra cantidad compleja de corrección de esta desalineación de fase:

$$C_p = e^{j\omega T}$$

donde:

la frecuencia angular de la señal de accionamiento $\omega = 2\pi * 5\,050\,000$ Hz;

- 25 la frecuencia de muestreo = 2 MHz y el tiempo entre los canales de muestreo $T = 0.5 \mu s$.

La «salida» del detector es ahora una cantidad compleja, A , calculada de esta manera:

$$A = \frac{C_p \cdot c_s}{c_r}$$

A es el valor que se usa en todos los análisis adicionales.

En la siguiente sección se proporcionan detalles del modelo matemático del aparato.

- 30 Método basado en modelo

Impedancia de entrada y propiedades parasitarias del ADC

- 35 La impedancia de entrada del ADC 150 modificará la señal de entrada tanto en amplitud como en fase y, de este modo, sus efectos necesitan calibrarse. La impedancia de entrada de los canales del ADC se trata como desconocida, pero es posible suponer que son aproximadamente iguales ya que se usa el mismo ADC para medir ambos canales, y las entradas se multiplexan.

La impedancia de entrada del ADC 150 puede deducirse a partir de un proceso denominado calibración de «placa desnuda». La PCB sola (es decir, la celda detectora no está conectada) se enciende y la señal de circuito abierto medida puede analizarse. En la figura 8 se muestra cómo las impedancias se combinan generalmente para ambos canales, en donde:

- 40 Z es la impedancia de entrada del ADC;

S es un resistor de 200 ohmios ($R_s = R_{c1}$);

D es una carga (para medir) conectada en paralelo al ADC.

Sin la celda conectada, $D \rightarrow \infty$ para el canal de detección c_s y $D = R_{c2}$ para el canal de referencia c_r . Como ejemplo, D = resistor de 22 Ω para una celda llena de fluido de corte. Esto hace que la señal de accionamiento/ref y la

celda detectora tengan casi la misma impedancia cuando se presentan al ADC. Se entenderá que D puede establecerse en un valor apropiado para la aplicación.

Se puede suponer que Z es el mismo para ambos canales, y con el valor A de salida de detector sin procesar se puede deducir el valor de Z.

5 El análisis de red de lo anterior da:

$$c = \frac{[Z^{-1} + D^{-1}]^{-1}}{[Z^{-1} + D^{-1}]^{-1} + S}$$

lo que simplifica:

$$c = \frac{1}{1 + SZ^{-1} + SD^{-1}}$$

Ahora, esta forma general se convierte en una expresión para c_s y c_r :

10
$$c_s = \frac{1}{1 + SZ^{-1}}$$

puesto que $D \rightarrow \infty$ y

$$c_r = \frac{1}{1 + SZ^{-1} + SD^{-1}}$$

Después de la redistribución y simplificación, c_s/c_r puede escribirse como:

$$A = \frac{c_s}{c_r} = \frac{Z + S + ZSD^{-1}}{Z + S}$$

15 y se resolvió para Z.

$$Z = \frac{S(1 - A)}{A - 1 - SD^{-1}}$$

El valor de Z se calcula a partir de la medición de placa desnuda para cada detector y se almacena en memoria no volátil para su uso con todos los cálculos adicionales. Esta cantidad compleja representa tanto las cargas resistivas como capacitivas a la frecuencia de operación.

20 Deducción de la impedancia de la celda

Ahora que la impedancia del ADC está completamente caracterizada, es posible deducir la impedancia de la carga del detector conectado a partir de un análisis de red adicional. La impedancia de la celda se indica mediante L. Durante la operación, con la celda detectora conectada, la salida del canal detector puede escribirse (análogamente a nuestra expresión c_r) como:

25
$$c_s = \frac{1}{1 + SZ^{-1} + SL^{-1}}$$

Usando la expresión derivada previamente para c_r se puede decir que:

$$A = \frac{c_s}{c_r} = \frac{1 + SZ^{-1} + SD^{-1}}{1 + SZ^{-1} + SL^{-1}}$$

Esto puede resolverse para L para dar:

$$L^{-1} = \frac{1}{AS} + \frac{Z^{-1}}{A} + \frac{D^{-1}}{A} - \frac{1}{S} - Z^{-1}$$

30 En esta expresión se combinan todos los valores de resistor conocidos y el valor de calibración para la impedancia del ADC para dar la impedancia de la celda y propiedades parasitarias asociadas con las conexiones a ella.

Se supone ahora que L representa la impedancia de la red mostrada en la figura 9 que comprende la celda 110 detectora y la inductancia L_s del conductor. La contribución de la inductancia del conductor, L_s , es muy significativa, pero se supone que su valor es constante y puede determinarse empíricamente.

$$L = i\omega L_s + \frac{1}{R^{-1} + i\omega C}$$

- 5 Donde R es la resistencia de la celda y C es su capacitancia. Tanto R como C se pueden deducir de esta ecuación cuando el valor de L_s es conocido. Esto se consigue más fácilmente calculando la admitancia de celda:

$$Y = \frac{1}{L - i\omega L_s} = R^{-1} + i\omega C$$

$$C = \frac{\text{Im}(Y)}{\omega}$$

de la parte imaginaria de la admitancia, y:

$$R = \frac{1}{\text{Re}(Y)}$$

de la parte real.

Cálculo de la conductividad y permitividad relativa

La resistencia de la celda viene determinada teóricamente por la geometría de la celda y la resistividad del fluido como sigue:

$$R = \rho \cdot \frac{\ln(b/a)}{2\pi L}$$

donde:

ρ es la resistividad del fluido;

b es el diámetro interno del tubo exterior de la celda (por ejemplo, 26.9×10^{-3} m);

a es el diámetro externo de la varilla coaxial (por ejemplo, 7×10^{-3} m);

L es la longitud de la varilla expuesta al fluido (por ejemplo, 75×10^{-3} m).

El factor de celda es la relación de resistencia a resistividad. Se calcula que este es de alrededor de 2.85, y se mide que es de alrededor de 2.76 a partir de pruebas de laboratorio con fluidos salinos de concentraciones conocidas.

$$\text{Conductividad} = 1/\rho.$$

Por lo tanto:

$$\text{Conductividad} = 2.76/R \quad (\text{Ecuación 1})$$

La capacitancia de la celda se calcula para que sea:

$$C = \frac{2\pi L}{\ln(b/a)} \epsilon_0 \epsilon_r$$

donde ϵ_0 es la permitividad dieléctrica del espacio libre y ϵ_r es la permitividad relativa (constante dieléctrica) del fluido.

Todas las demás dimensiones son iguales. Por tanto, el factor de celda determinado experimentalmente de 2.76 también se puede usar para desarrollar la interrelación entre ϵ_r y la capacitancia de manera similar, tal que:

$$\epsilon_r = 2.76C / \epsilon_0 \quad (\text{Ecuación 2})$$

A partir de la descripción anterior, se entenderá que los valores medidos c_s , c_r (convertidos en la cantidad de señal de diferencia compleja A) se introducen en un modelo matemático del aparato que incluye al menos un componente parasitario, para proporcionar un valor de salida de conductividad (ecuación 1) y constante dieléctrica (ecuación 2). Otra propiedad posible es la permitividad compleja.

Determinación de la inductancia del conductor y otros elementos parasitarios

La inductancia del conductor puede determinarse empíricamente. Si la expresión para L se reescribe usando partes reales e imaginarias discretas, puede verse que la contribución de L_s a la medida final es pequeña cuando la resistencia de la celda es alta, y desempeña una parte significativa cuando la resistencia de la celda es baja. Haciendo pasar agua desionizada a través de la celda, es posible medir un valor para la capacitancia de la celda asumiendo que la inductancia del conductor es cero en el análisis anterior.

El paso de soluciones salinas de concentraciones variables a través del detector a una temperatura constante debe dar un valor constante para la capacitancia y valores variables de conductividad. Se eligió un valor de inductancia del conductor para dar la respuesta más plana posible para la capacitancia en este intervalo.

Sin embargo, la respuesta no es perfecta, ya que es probable que haya componentes parasitarios adicionales aún no identificados y el análisis de red necesite un refinamiento adicional.

En la figura 10 se muestran dos conjuntos de mediciones realizadas en concentraciones variables de solución salina. Puede verse que hay desviaciones de la línea horizontal plana ideal incluso cuando se considera la inductancia del conductor. Por lo tanto, para aplicaciones prácticas, es posible almacenar una correlación de estos datos salinos e interpolar estos valores para proporcionar información de calibración para diferentes conductividades.

Método de tabla de búsqueda

En el método de tabla de búsqueda se usa la señal de diferencia determinada por la etapa 164. Como se ha descrito antes, se puede usar la cantidad A :

$$A = \frac{c_p \cdot c_s}{c_r}$$

donde:

c_s representa la fase y la magnitud de la señal de detección, «DETECCIÓN». c_s comprende una componente en fase (real) $c_s(I)$ y una componente en cuadratura (imaginaria) $c_s(Q)$.

c_r representa la fase y la magnitud de la señal de referencia (es decir, la señal de accionamiento, «ACCIONAMIENTO»/«REF»). c_r comprende una componente en fase (real) $c_r(I)$ y una componente en cuadratura (imaginaria) $c_r(Q)$.

c_p es un factor de corrección para compensar los diferentes momentos en donde c_s y c_r se muestrean.

En la etapa 165 de procesamiento se usan entonces las componentes en fase y en cuadratura de la cantidad de señal de diferencia compleja A para buscar los valores correspondientes de C (constante dieléctrica) y R (conductividad) en un conjunto de datos almacenado, es decir, una tabla de búsqueda.

Método de correlación de datos

En el método de correlación de datos se usa la señal de diferencia determinada por la etapa 164. Como se ha descrito antes, se puede usar la cantidad A :

$$A = \frac{c_p \cdot c_s}{c_r}$$

donde:

c_s representa la fase y la magnitud de la señal de detección, «DETECCIÓN». c_s comprende una componente en fase (real) $c_s(I)$ y una componente en cuadratura (imaginaria) $c_s(Q)$.

c_r representa la fase y la magnitud de la señal de referencia (es decir, la señal de accionamiento, «ACCIONAMIENTO»/«REF»). c_r comprende una componente en fase (real) $c_r(I)$ y una componente en cuadratura (imaginaria) $c_r(Q)$.

c_p es un factor de corrección para compensar los diferentes momentos en donde c_s y c_r se muestrean.

La etapa 165 de procesamiento correlaciona entonces las componentes en fase y en cuadratura de la cantidad de señal de diferencia compleja A a un conjunto de datos almacenado (o la compara con este). Los datos almacenados pueden estar en forma de un conjunto de curvas. En la figura 11 se muestra un conjunto de curvas 501, 502, 503 que representan fluidos de tres constantes dieléctricas diferentes y conductividad variable. Todos los valores son aproximados y deben representar el concepto solamente. Una «medición» en forma de un par de valores I , Q se representará por un punto en esta correlación de datos. Para deducir la concentración de la emulsión, es posible, por lo tanto, deducir empíricamente la concentración y la constante dieléctrica a partir de la posición de un punto en esta correlación. Para una medida dada (I , Q) es posible, por extrapolación, encontrar la constante dieléctrica con suficiente

precisión para monitorizar la concentración de fluido de corte de emulsión con cantidades variables de contaminación iónica.

En la figura 12 se muestran datos experimentales a partir de mediciones a 5.05 MHz a 20 grados Celsius de diversas soluciones de salmuera (se supone que la constante dieléctrica no cambia) 401 y emulsión (con conductividad y constante dieléctrica variables) 402. Los datos ilustran el efecto de transformación de los elementos de circuito parasitarios. La curva 401 representa un fluido que tiene constante dieléctrica invariable, pero conductividad variable. Esta curva puede considerarse como un tipo de control que muestra cómo los efectos parasitarios «distorsionan» la correlación de las componentes real e imaginaria lejos de una línea horizontal recta teórica y perfecta. La curva 402 representa fluidos con variaciones tanto en la constante dieléctrica como en la conductividad. Se formó un fluido de prueba añadiendo cantidades variables de mezcla de emulsión de fluido de corte a agua desionizada. En este caso, la concentración de la emulsión varía entre un 2.5 % y un 20 %. Se observa que la conductividad aumenta con el aumento de la concentración (de derecha a izquierda), pero también la constante dieléctrica se reduce desde un valor esperado de ~77.5 % al 2.5 % a de ~60 % al 20 %.

La convergencia de los datos en el lado izquierdo se debe al efecto matemático de aumentar la conductividad, provocando una reducción de la sensibilidad del sistema a los efectos que se están midiendo.

Mediciones precisas de la conductividad

Usando una señal de accionamiento de 1.05 MHz o inferior, se reducen significativamente las componentes reactivas (capacitivas y parasitarias) de la señal. En estas condiciones, la parte real de la señal puede usarse para deducir la conductividad sin tomar suposiciones sobre los efectos parasitarios del circuito. Para un sistema en donde no se espera que la temperatura o la composición del fluido cambie rápidamente, esta medición se puede hacer casi simultáneamente a la medición de alta frecuencia.

Señal de referencia (REF)

Un perfeccionamiento del diseño es el uso de una señal de referencia, «REF». En este diseño se usan Rc1 y Rc2 para representar una celda puramente resistiva «virtual». Tendrá una amplitud en fase con la señal de accionamiento. «REF» puede proporcionar una mejor señal de referencia que «ACCIONAMIENTO», ya que está diseñada para tener una impedancia de salida similar a «DETECCIÓN». El pensamiento que subyace a esto es que, si el desplazamiento de fase provocado por la capacitancia de entrada del ADC fuera idéntico para cada canal, su efecto se anularía. Es poco probable que se consiga esta situación ideal, pero este enfoque ayudará a reducir el efecto de la capacitancia de entrada.

Fluidos de ejemplo

Un ejemplo de aplicación del aparato es controlar la mezcla y la composición de fluidos de corte de emulsión. La proporción aceite-agua debe controlarse. La relación aceite-agua puede determinarse midiendo la constante dieléctrica del fluido. El agua tiene una constante dieléctrica de alrededor de 80 a 20 grados Celsius, y la componente de aceite tiene una constante dieléctrica <10. La evaporación del agua del fluido provoca que aumente la relación aceite-agua, y de ese modo es necesario añadir agua para conservar la concentración de emulsión dentro de los límites requeridos.

La constante dieléctrica del fluido es aproximadamente igual al promedio en volumen de las dos componentes, por lo que para una mezcla al 10 % se esperaría una constante dieléctrica de alrededor de 72. El tensioactivo usado para conservar las gotitas de aceite en suspensión es conductor ya que tiene componentes iónicos. La conductividad sola no puede usarse para determinar la concentración de la emulsión, ya que la conductividad se ve afectada por otros factores tales como la dureza del agua y otra contaminación iónica.

La constante dieléctrica del agua varía con la temperatura. Por lo tanto, también es deseable medir la temperatura y hacer una compensación apropiada. En la figura 1 se muestra un detector 105 de temperatura ubicado con la celda 110 de detector de fluido. Se proporciona una salida indicativa de temperatura al procesamiento 130 de señal.

Otras posibles aplicaciones son monitorizar la proporción de agua en cualquier mezcla química (fluida o estática), tal como la fabricación de cerveza/whisky (por ejemplo, para determinar el contenido de alcohol); fabricación de biocombustible (por ejemplo, para monitorizar la contaminación de agua); monitorización de aceite de caja de engranajes y lubricante.

Otra aplicación posible es medir la humedad de un gas.

Otras alternativas

En el aparato se puede usar un único ADC y un multiplexor para multiplexar en el tiempo señales de entrada al único ADC, como se muestra en la figura 4. Alternativamente, el aparato puede comprender dos ADC separados, con un ADC por señal de entrada.

La frecuencia de la señal de accionamiento puede seleccionarse en base al tipo de fluido bajo prueba. En otros ejemplos, el generador de señal de accionamiento puede generar una pluralidad de señales de accionamiento a diferentes frecuencias, o puede haber una pluralidad de generadores de señal de accionamiento.

En la figura 13 se muestra un ejemplo de aparato 500 de procesamiento que puede implementarse como cualquier forma de un dispositivo informático y/o electrónico, y en donde pueden implementarse realizaciones del sistema y métodos descritos antes. El aparato de procesamiento puede implementar todos, o parte, de cualquiera de los métodos descritos antes. El aparato 500 de procesamiento comprende uno o más procesadores 501 que pueden ser microcontroladores, microprocesadores, controladores o cualquier otro tipo adecuado de procesadores para ejecutar instrucciones para controlar la operación del dispositivo. El procesador 501 está conectado a otros componentes del dispositivo a través de uno o más buses 506. Las instrucciones 503 ejecutables por procesador pueden proporcionarse usando cualquier medio legible por ordenador, tal como la memoria 502. Las instrucciones 503 ejecutables por procesador pueden comprender instrucciones para implementar la funcionalidad de los métodos descritos. La memoria 502 es de cualquier tipo adecuado, tal como memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM), un dispositivo de almacenamiento de cualquier tipo, tal como un dispositivo de almacenamiento magnético u óptico. Se puede proporcionar una memoria 504 adicional para almacenar datos 505 usados por el procesador 501. El aparato 500 de procesamiento comprende interfaces 507 de entrada/salida (I/O). Las interfaces 507 de I/O pueden recibir las señales de entrada de la celda de detector. Las interfaces 507 de I/O pueden emitir señales que indican las propiedades medidas del fluido. El aparato 500 de procesamiento comprende uno o más ADC para muestrear señales de entrada analógicas, como se describió anteriormente. El aparato 500 de procesamiento comprende una o más interfaces 508 de red para interactuar con otras entidades de red. El aparato 500 de procesamiento puede implementarse como un microcontrolador con un procesador 501, una memoria 502, interfaces 507 de I/O y ADC 509 integrados en un único circuito integrado.

En las figuras 14A y 14B se muestra un ejemplo de un detector 610 de fluido que puede usarse como la celda 110 detectora de fluido en cualquiera de los ejemplos o realizaciones descritos anteriormente. En la figura 14A se muestra el detector 610 de fluido en sección transversal a lo largo de un eje longitudinal (A-A' en la figura 14B). En la figura 14B se muestra el detector 610 de fluido en sección transversal a lo largo de la línea B-B' de la figura 14A. El detector 610 de fluido está configurado para monitorizar un fluido que fluye. El detector 610 de fluido es una forma de detector capacitivo. El detector tiene un primer electrodo 611 exterior y un segundo electrodo 612 interior. El electrodo 611 exterior es tubular. El electrodo 612 interior es una varilla cilíndrica. Los electrodos 611, 612 son coaxiales. Un canal 613 de flujo de fluido está definido en la región entre los electrodos 611, 612. El fluido puede fluir a lo largo del canal 613 de flujo de fluido. Esto permite hacer mediciones sin necesidad de interrumpir un proceso en que se usa el fluido. Por ejemplo, en la aplicación de la medición de un fluido de corte, el fluido de corte (o una porción del fluido de corte) puede dirigirse a través del canal 613 de flujo. Un conductor 615 pasante de alimentación conecta el electrodo 612 interior a un generador de señal de accionamiento ubicado fuera del detector de fluido. El conductor 615 está aislado. Una pluralidad de soportes 614, mostrados aquí en forma de una matriz en forma de cruz, soportan el electrodo 612 interior dentro del electrodo exterior. Los soportes 614 están formados de un material aislante. El canal 613 de flujo se extiende a través de aberturas entre los soportes 614. Un conjunto de soportes 614 puede estar situado cerca de cada extremo longitudinal del detector de fluido, como se muestra en la figura 14A. Como se muestra en la figura 14A, uno de los conjuntos de soportes 614 puede incorporar la alimentación a través del conductor 615. El soporte 614 alrededor del conductor 615 de alimentación proporciona un sello hermético a los fluidos para evitar la pérdida de fluido del detector 610. Con esta configuración se evita la necesidad de un conjunto de soportes 614 y un elemento tubular separado para la alimentación a través del conductor 615. El detector 610 de fluido puede tener cualquier longitud y diámetro adecuados.

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones de esta memoria descriptiva, las palabras «comprende» y «contiene» y variaciones de las palabras, por ejemplo «que comprende» y «comprende», significa «que incluye, entre otros», y no excluye (ni se pretende excluir) otros restos, aditivos, componentes, números enteros o pasos.

A lo largo de la descripción y las reivindicaciones de esta memoria descriptiva, el singular abarca el plural a menos que el contexto requiera lo contrario. En particular, cuando se usa el artículo indefinido, la memoria descriptiva debe entenderse como que contempla la pluralidad, así como la singularidad, a menos que el contexto requiera lo contrario.

Los rasgos, los números enteros, las características, los compuestos, los restos o grupos químicos descritos junto con un aspecto, una realización o un ejemplo particular de la invención debe entenderse que son aplicables a cualquier otro aspecto, otra realización u otro ejemplo descritos en el presente documento a menos que sea incompatible con estos.

REIVINDICACIONES

1. Aparato para medir al menos una propiedad de un fluido, comprendiendo el aparato:

un detector (110) de fluido capacitivo que comprende un primer electrodo (111) y un segundo electrodo (112) con una región (113) de detección entre los electrodos;

5 una fuente (120) de señal alterna configurada para aplicar una señal de accionamiento alterna al detector (110) de fluido capacitivo; y

un aparato (130) de procesamiento configurado para:

recibir una señal de detección del detector (110) de fluido capacitivo;

recibir la señal de accionamiento alterna;

10 determinar una señal de diferencia compleja (A) que comprende una relación de la señal de detección y la señal de accionamiento, comprendiendo la señal de diferencia compleja una componente de diferencia en fase y una componente de diferencia en cuadratura;

15 determinar al menos una propiedad del fluido en base tanto a la componente de diferencia en fase como a la componente de diferencia en cuadratura de la señal de diferencia compleja compensando un efecto sobre la señal de diferencia compleja debido a al menos un elemento parasitario del aparato.

2. Aparato según la reivindicación 1, en donde el aparato (130) de procesamiento está configurado para determinar una componente en fase de la señal de detección y una componente en cuadratura de la señal de detección, y opcionalmente el aparato (130) de procesamiento está configurado para determinar la componente en fase de la señal de detección y la componente en cuadratura de la señal de detección mediante una operación de filtrado promediado realizada sobre una pluralidad de ciclos de la señal de accionamiento alterna.

3. Aparato según la reivindicación 1 o 2, en donde el aparato (130) de procesamiento está configurado para determinar una componente en fase de la señal de accionamiento y una componente en cuadratura de la señal de accionamiento, y/o el aparato (130) de procesamiento está configurado para determinar la componente en fase de la señal de accionamiento y la componente en cuadratura de la señal de accionamiento mediante una operación de filtrado promediado realizada sobre una pluralidad de ciclos de la señal de accionamiento alterna.

4. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el aparato (130) de procesamiento está configurado para:

30 determinar la componente en fase de la señal de detección y la componente en cuadratura de la señal de detección mediante una operación de filtrado promediado realizada sobre una pluralidad de ciclos de la señal de accionamiento alterna;

determinar una componente en fase de la señal de accionamiento y una componente en cuadratura de la señal de accionamiento mediante una operación de filtrado promediado realizada sobre una pluralidad de ciclos de la señal de accionamiento alterna;

35 determinar la componente de diferencia en fase basándose en la componente en fase filtrada de la señal de detección y la componente en fase filtrada de la señal de accionamiento; y

determinar la componente de diferencia de cuadratura basándose en la componente de cuadratura filtrada de la señal de detección y la componente de cuadratura filtrada de la señal de accionamiento.

5. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el aparato (130) de procesamiento está configurado para usar la componente de diferencia en fase y la componente de diferencia de cuadratura en un modelo algorítmico del aparato para determinar al menos uno de lo siguiente: (i) constante dieléctrica del fluido y (ii) conductividad del fluido, en donde el modelo algorítmico incluye al menos un elemento parasitario del aparato.

6. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el aparato (130) de procesamiento está configurado para muestrear la señal de detección a una frecuencia de muestreo, y una frecuencia de la señal de accionamiento de corriente alterna es mayor que la frecuencia de muestreo.

45 7. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el aparato (130) de procesamiento está configurado para:

proporcionar un oscilador digital con una salida de oscilador en fase y una salida de oscilador en cuadratura;

50 proporcionar un bucle con bloqueo de fase que está configurado para usar la salida del oscilador en fase y la salida del oscilador en cuadratura para lograr la sincronización entre la señal de accionamiento y el oscilador digital, y opcionalmente el bucle con bloqueo de fase es un bucle de Costas.

8. Aparato según la reivindicación 7, en donde el aparato (130) de procesamiento está configurado para usar la salida del oscilador en fase y la salida del oscilador en cuadratura para procesar la señal de detección cuando se ha logrado un estado de sincronización bloqueada.
- 5 9. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes que comprende un convertidor (150) analógico-digital y en donde el aparato (130) de procesamiento está configurado para:
- muestrear la señal de detección en un primer momento y muestrear la señal de accionamiento en un segundo momento que está desfasado del primer momento; y
- aplicar un factor de corrección a las señales muestreadas para corregir los tiempos de desfase en donde se muestrearon las señales.
- 10 10. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el elemento parasitario es inductancia de conductor.
11. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende un detector (105) de temperatura, y en donde el aparato (130) de procesamiento está configurado para:
- determinar la temperatura del fluido;
- 15 determinar la conductividad usando la temperatura determinada.
12. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el detector de fluido capacitivo está configurado para monitorizar un fluido que fluye, en donde el primer electrodo (111) y el segundo electrodo (112) definen un canal (113) de flujo de fluido entre los electrodos, y opcionalmente el primer electrodo (111) es un electrodo tubular y el segundo electrodo (112) está ubicado dentro del primer electrodo (111).
- 20 13. Un aparato (130) de procesamiento para medir al menos una propiedad de un fluido, estando configurado el aparato de procesamiento para:
- recibir una señal de detección de un detector (110) de fluido capacitivo;
- recibir una señal de accionamiento alterna que se ha aplicado al detector de fluido capacitivo;
- 25 determinar una señal de diferencia compleja (A) que comprende una relación de la señal de detección y la señal de accionamiento, comprendiendo la señal de diferencia compleja una componente de diferencia en fase y una componente de diferencia en cuadratura;
- determinar al menos una propiedad del fluido en base tanto a la componente de diferencia en fase como a la componente de diferencia en cuadratura de la señal de diferencia compleja compensando un efecto sobre la señal de diferencia compleja debido a al menos un elemento parasitario del aparato.
- 30 14. Un método de medición de al menos una propiedad de un fluido, comprendiendo el método:
- recibir una señal de detección de un detector de fluido capacitivo;
- recibir una señal de accionamiento alterna que se ha aplicado al detector de fluido capacitivo;
- 35 determinar una señal de diferencia compleja que comprende una relación de la señal de detección y la señal de accionamiento, comprendiendo la señal de diferencia compleja una componente de diferencia en fase y una componente de diferencia en cuadratura;
- determinar al menos una propiedad del fluido basándose tanto en la componente de diferencia en fase como en la componente de diferencia en cuadratura de la señal de diferencia compleja compensando un efecto sobre la señal de diferencia compleja debido a al menos un elemento parasitario del aparato.
- 40 15. Un producto de programa informático que comprende un medio legible por máquina que lleva instrucciones que, cuando son ejecutadas por un procesador, hacen que el procesador realice el método de la reivindicación 14.

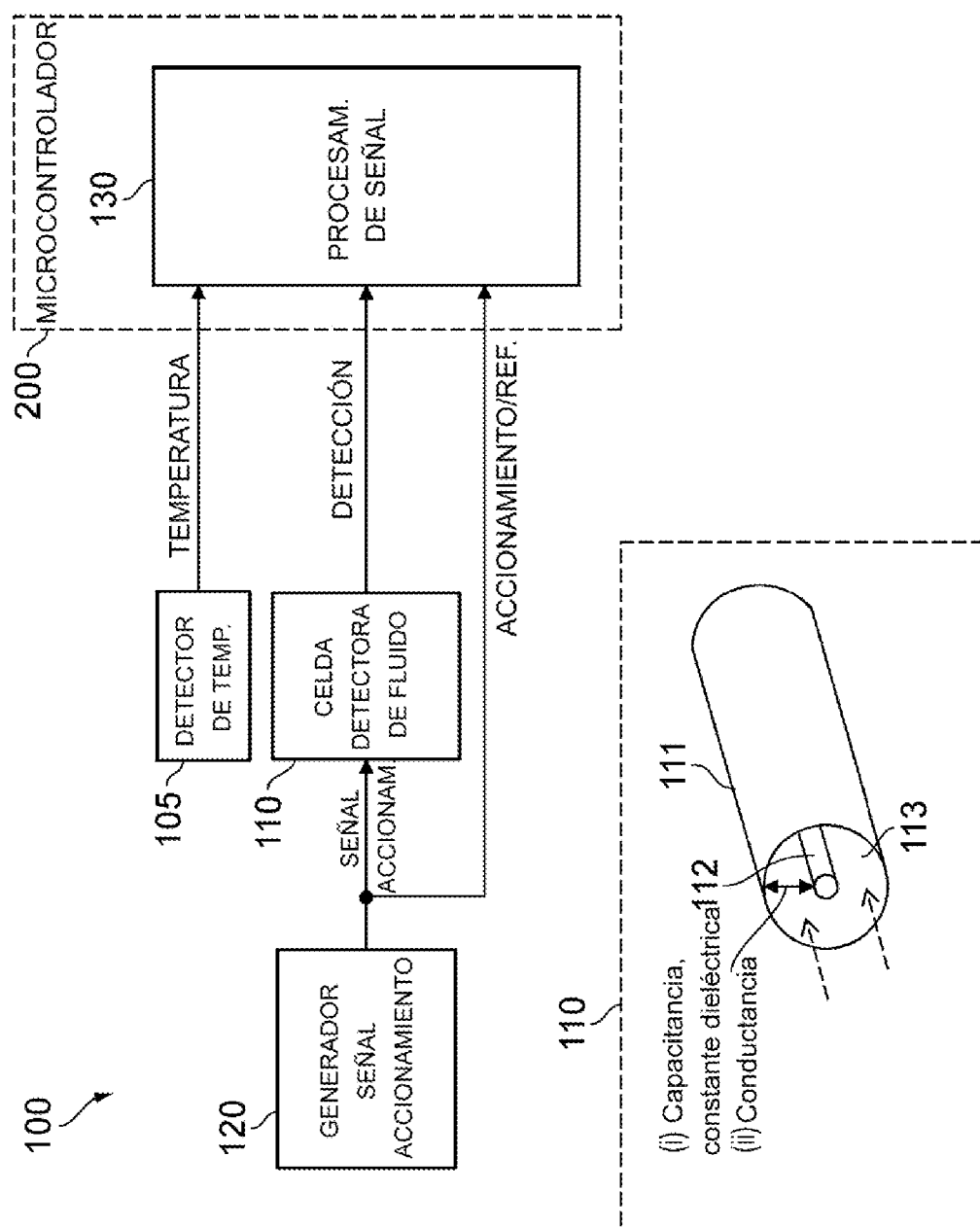


FIG. 1

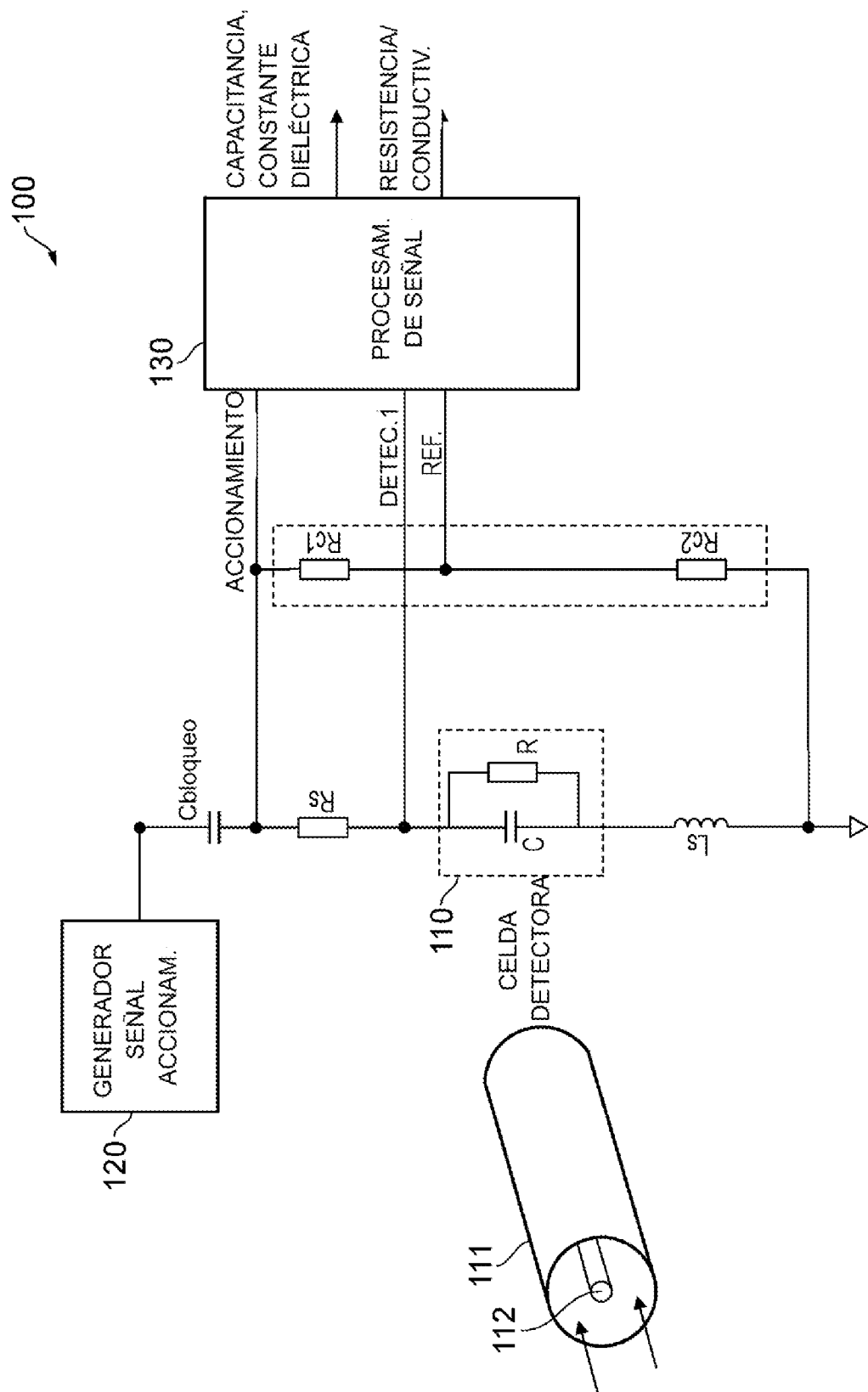


FIG. 2

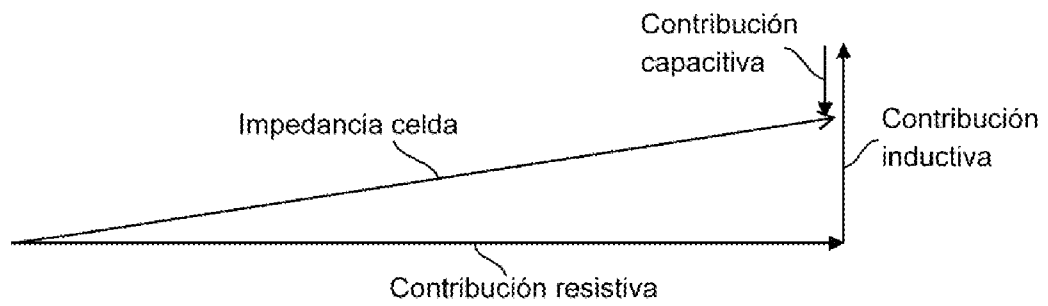


FIG. 3A

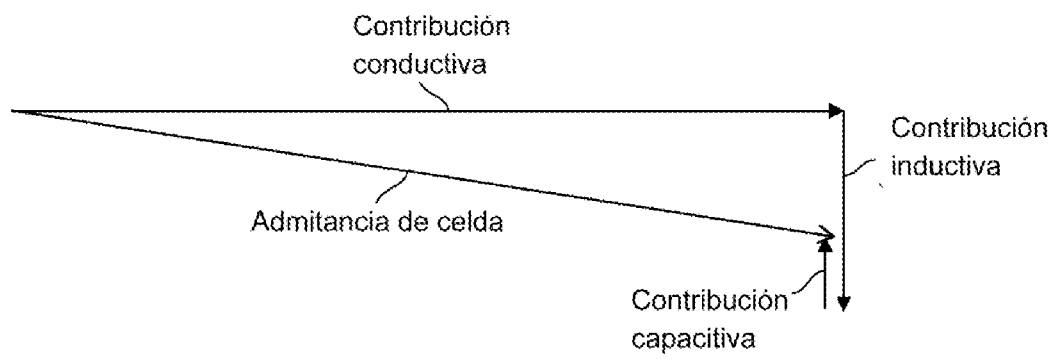


FIG. 3B

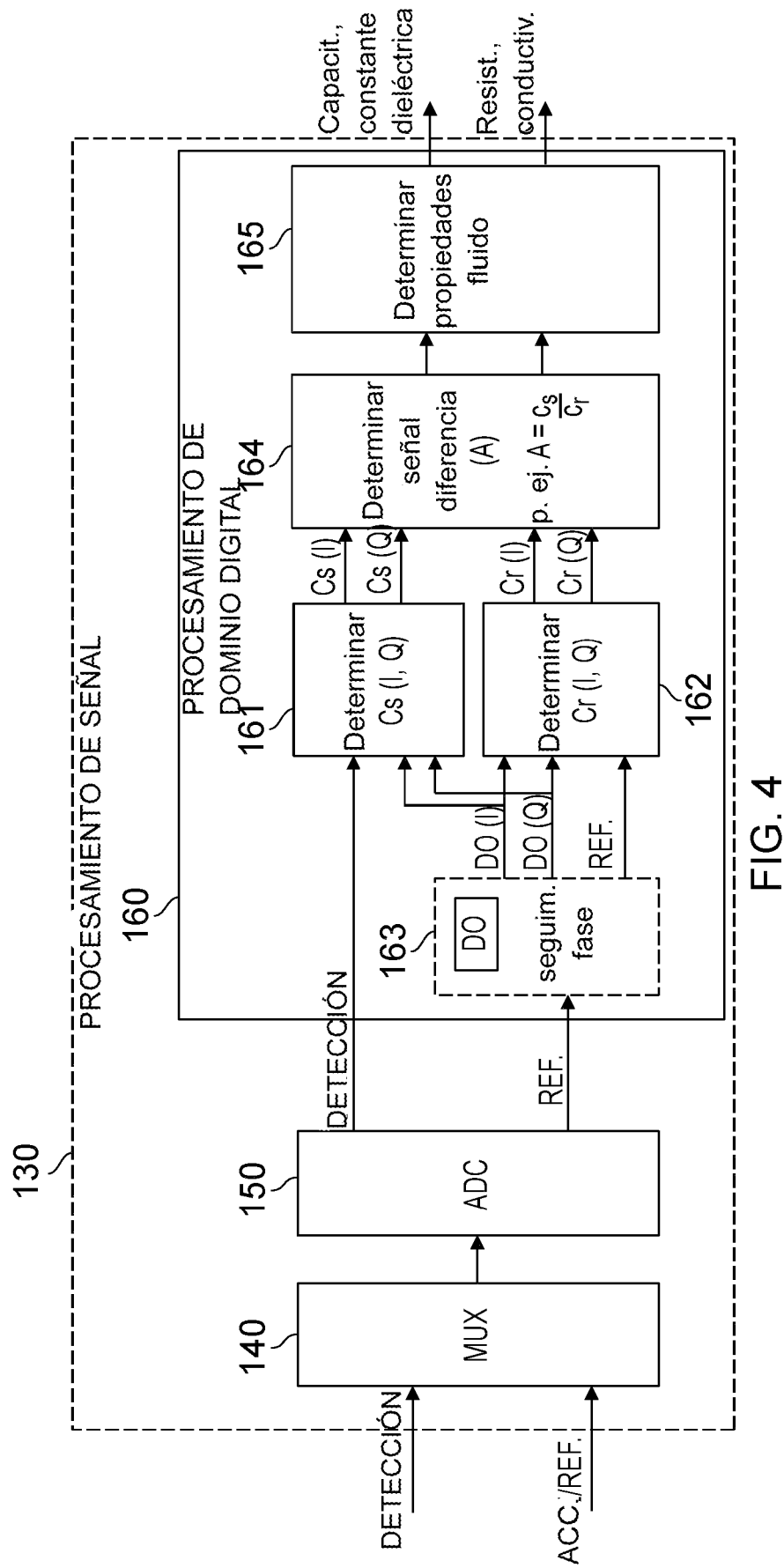


FIG. 4

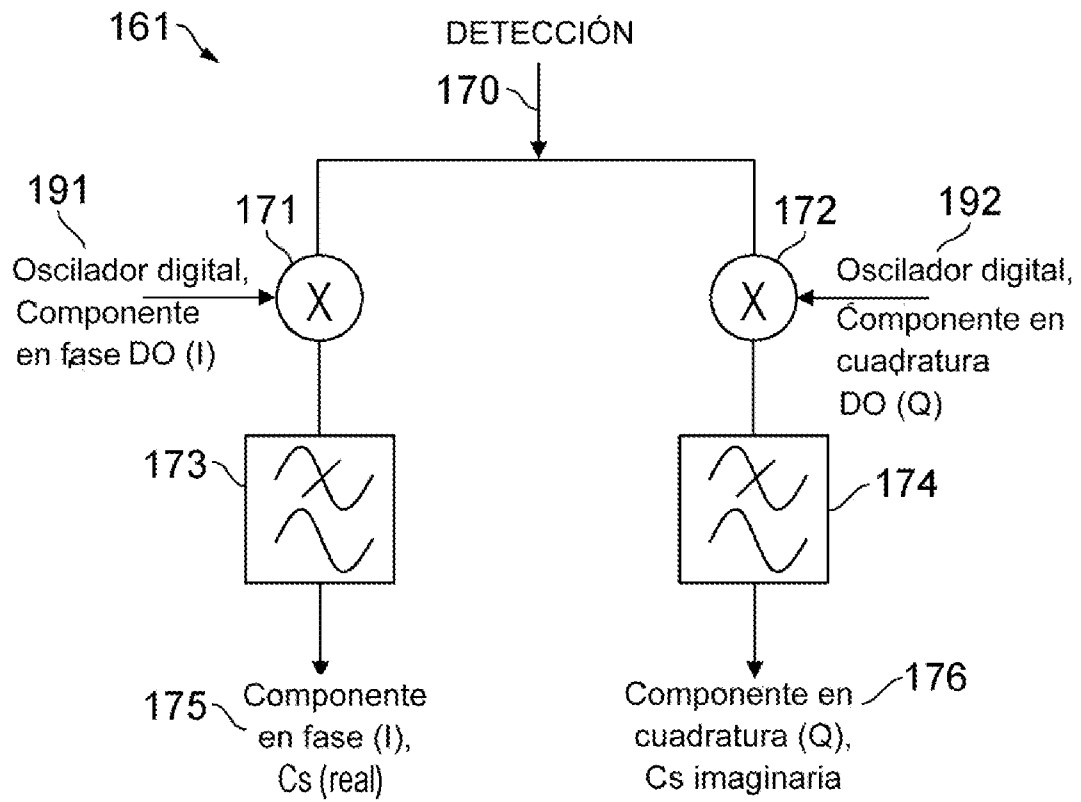


FIG. 5

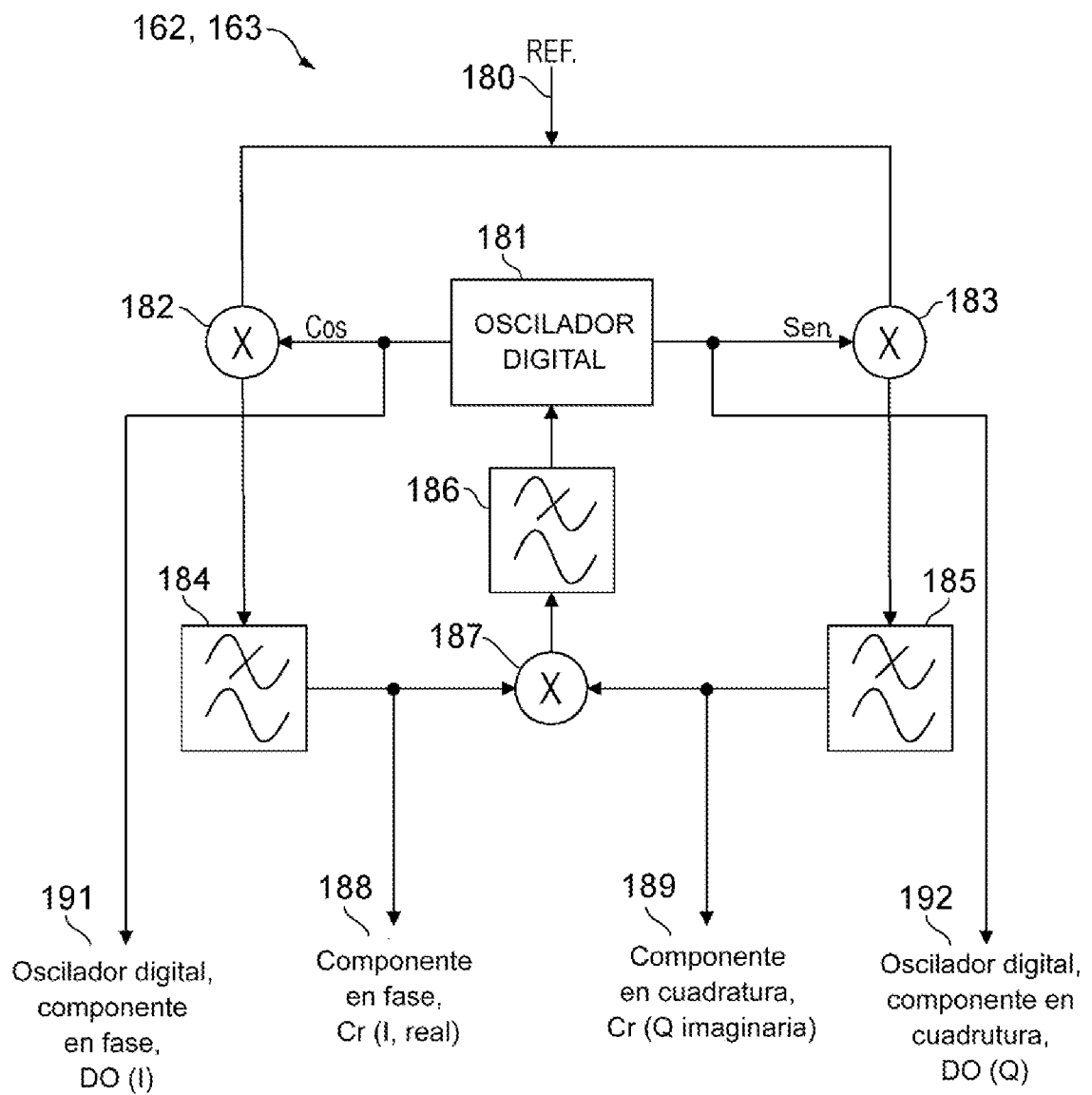
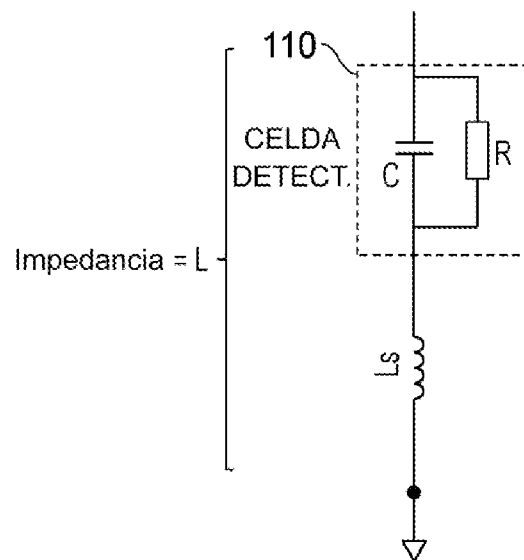
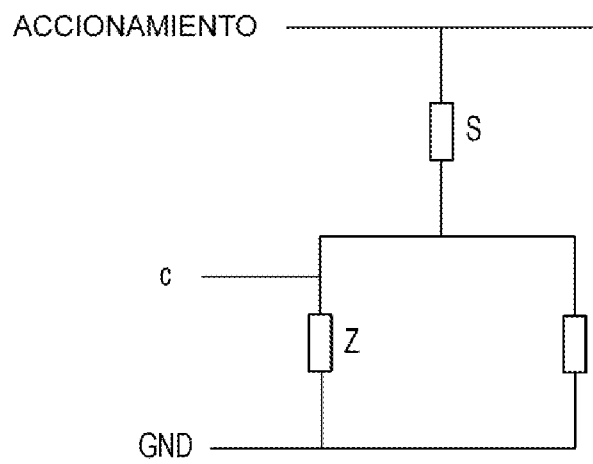
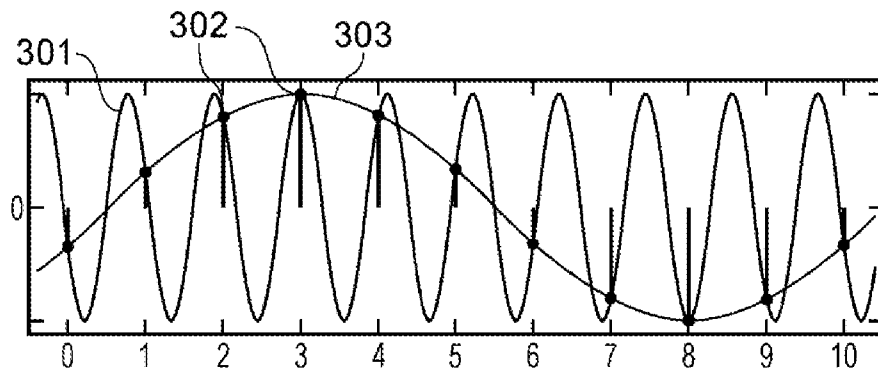


FIG. 6



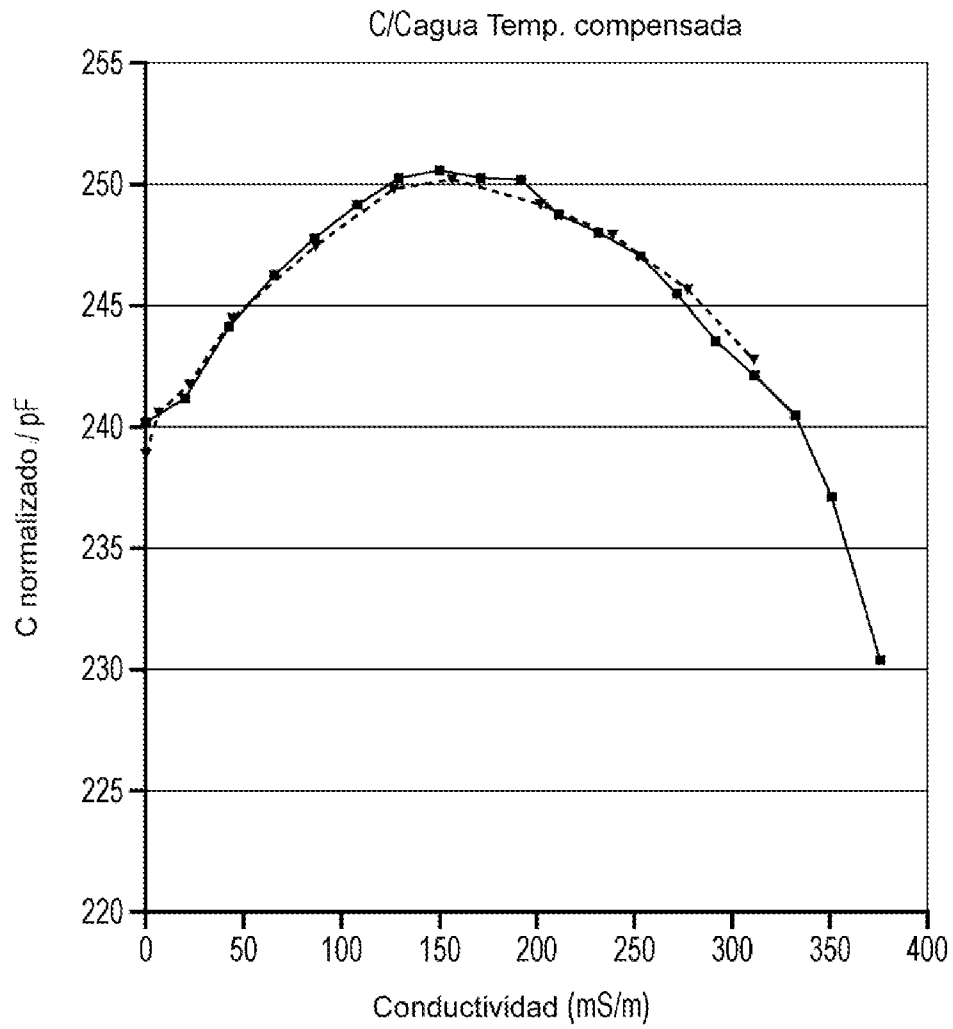


FIG. 10

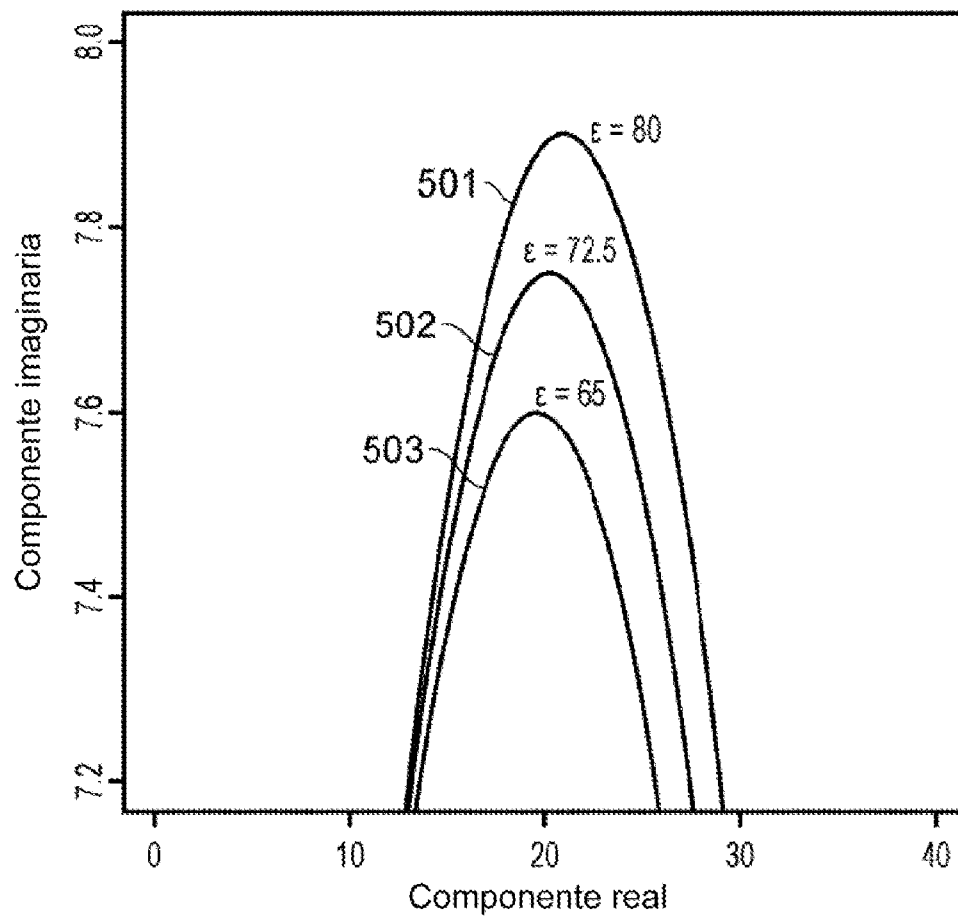


FIG. 11

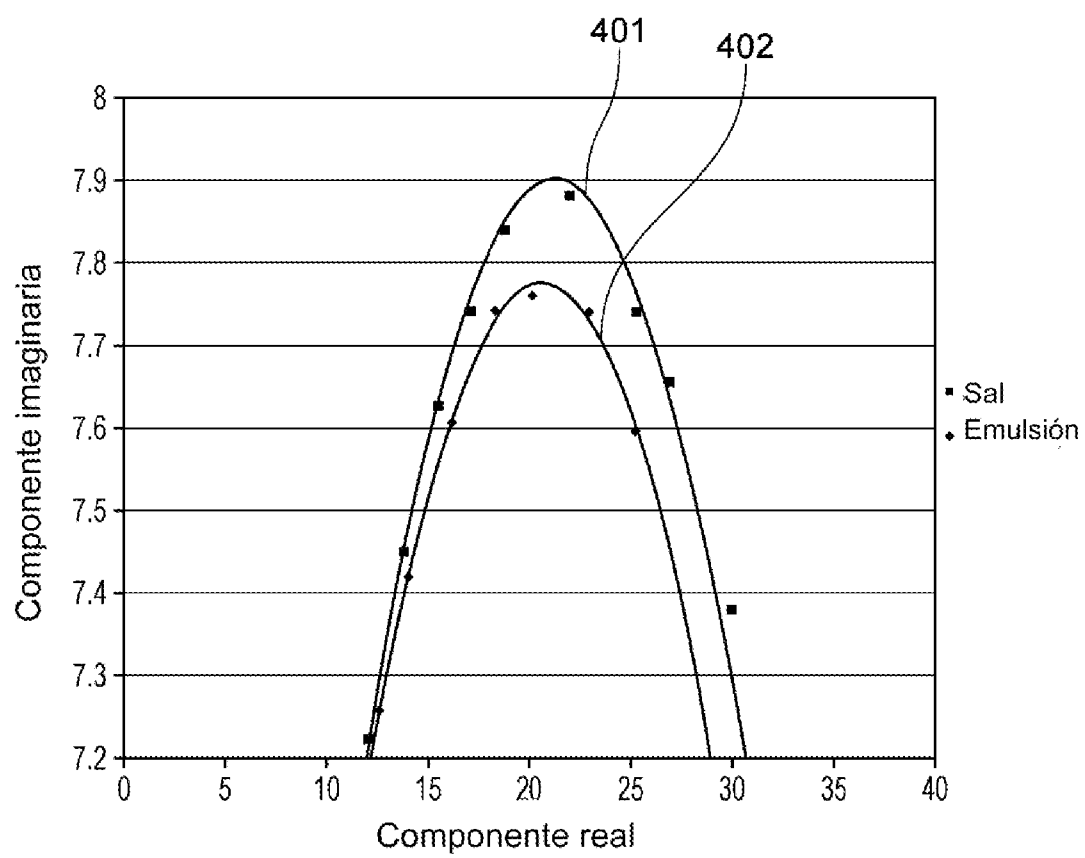


FIG. 12

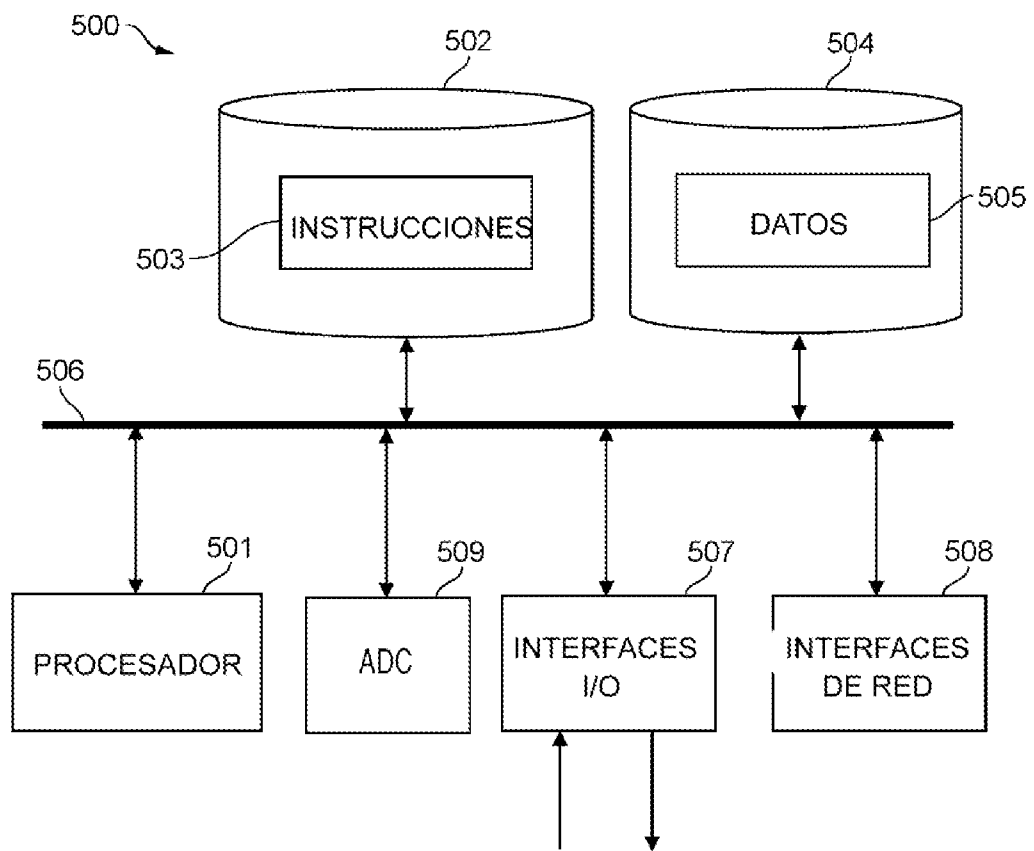


FIG. 13

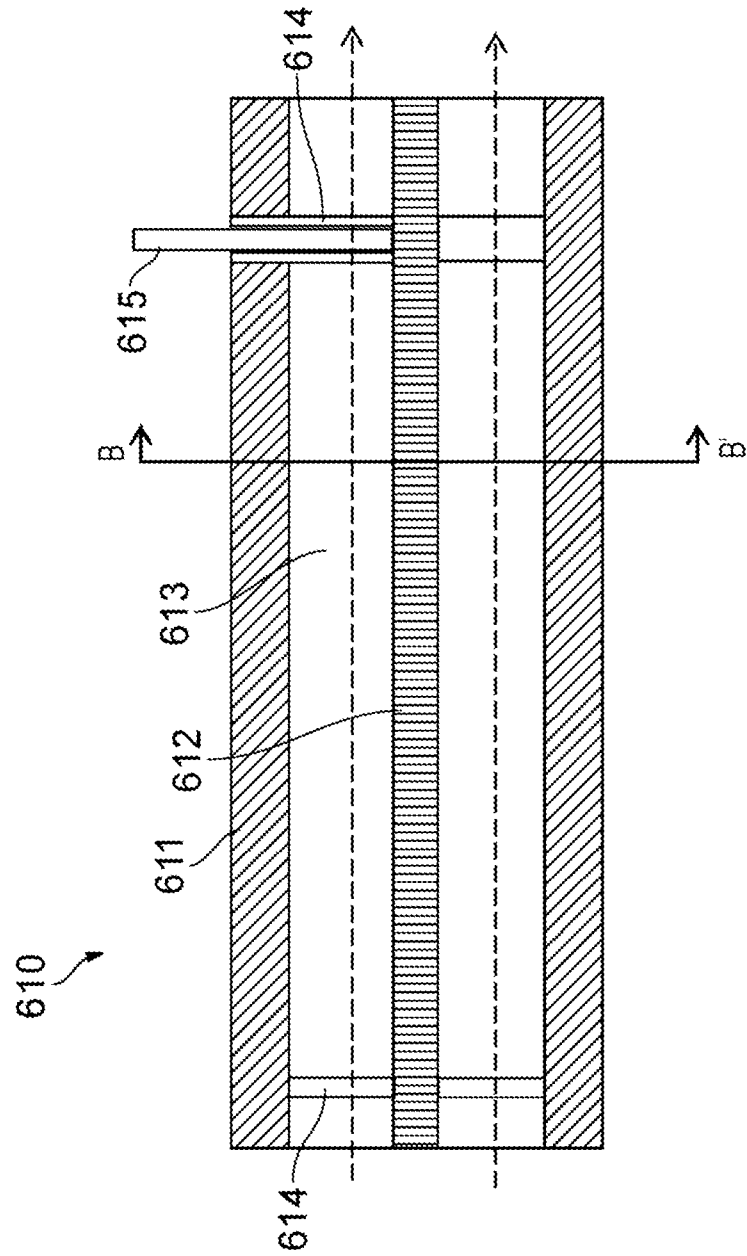


FIG. 14A

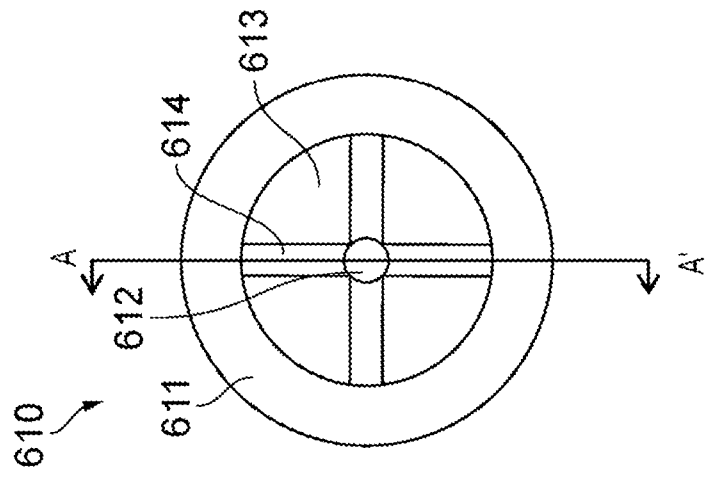


FIG. 14B