

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 679**

51 Int. Cl.:

G01N 29/024 (2006.01)

G01N 29/48 (2006.01)

G01N 29/44 (2006.01)

G01F 23/296 (2006.01)

G01H 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.10.2009 PCT/EP2009/063992**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.05.2010 WO10049363**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2009 E 09744374 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.12.2017 EP 2356440**

54 Título: **Método para determinar el instante de inicio de una respuesta de señal acústica**

30 Prioridad:

28.10.2008 EP 08167726

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

03.04.2018

73 Titular/es:

AXSENSOR AB (100.0%)

Viktoriagatan 3

411 25 Göteborg, SE

72 Inventor/es:

BOSTRÖM, JAN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 661 679 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 para determinar el instante de inicio de una respuesta de señal acústica

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método para determinar el instante de inicio de una respuesta de señal periódicamente oscilante, un software para la implementación de la misma, y un dispositivo que utiliza un método de este tipo.

10

Antecedentes de la invención

Existen sistemas acústicos de medición en varias variantes y pueden usarse en muchas áreas diferentes, por ejemplo, en la medición del nivel o el volumen en tanques, recipientes o similares, en la medición de la distancia, en la medición del flujo, en los diagnósticos médicos, tales como un examen por ultrasonido, en la determinación de la posición, etc.

15

Un ejemplo es un sistema acústico de tipo eco para la medición del nivel de líquido. En un sistema de este tipo, habitualmente se proporciona un transductor acústico en el punto más alto de un recipiente que contiene el líquido, cuyo nivel o volumen va a medirse. El transductor acústico se alimenta desde un transmisor con una primera señal eléctrica. En respuesta a esta primera señal, el transductor genera un pulso acústico, habitualmente en forma de una onda oscilante, que se transmite hacia abajo, hacia la superficie del líquido. Después de la reflexión contra la superficie, el pulso se capta nuevamente por el transductor que, en respuesta al mismo, genera una segunda señal eléctrica que se alimenta a un receptor. Se determina el intervalo de tiempo entre la primera y la segunda señal eléctrica, es decir, el tiempo de tránsito del pulso acústico, y puede calcularse la distancia desde el transductor a la superficie del líquido con un conocimiento de la velocidad de propagación del pulso acústico en el medio en cuestión.

20

25

Evidentemente, en relación con dicha medición del tiempo de tránsito, es importante poder hacer una determinación precisa del tiempo de recepción del pulso o eco reflejado.

30

El documento US 2007/0186624 desvela un método acústico para medir un tiempo de propagación de señal en un líquido médico, donde se muestrea una señal recibida similar a un oscilador durante su primer semiperiodo y se comprueba con la ayuda de un criterio de selección basado en el área encerrada entre el nivel de reposo y la señal recibida durante el semiperiodo. Cuando el resultado de esta comprobación es positivo, se determina una intersección entre la señal recibida y el nivel de reposo con ayuda de la cual se calcula el tiempo de tránsito de señal.

35

Sin embargo, la amplificación o la atenuación de la señal recibida cambia habitualmente en función de la temperatura del fluido en el que se propaga la señal acústica. Esto puede provocar mediciones erróneas en aplicaciones donde la temperatura no sea estable.

40

En un esfuerzo por reducir los errores de medición provocados por los cambios de temperatura, el documento US 6.226.598 desvela un método donde se define un primer periodo característico ideal, que se caracteriza por una relación de amplitud ideal entre las amplitudes de los dos lóbulos del primer periodo característico ideal. A continuación, para cada periodo de una señal de sonido recibida, se determinan las amplitudes de los dos lóbulos del periodo sometido a examen, y se compara una relación de las amplitudes con la relación de amplitud ideal. Si el resultado de la comparación es mayor que un valor umbral, el periodo considerado se considera como ruido, mientras que si el resultado de la comparación es menor que el valor umbral, se considera que el cruce por cero entre los dos lóbulos es el primer cruce por cero de la señal recibida.

45

50

Sin embargo, en algunas aplicaciones este método puede ser demasiado exigente computacionalmente.

Sumario de la invención

55

En vista de lo anterior, un objeto de la invención es superar sustancialmente al menos algunas de las desventajas de la técnica anterior. En particular, un objeto es proporcionar un método computacionalmente eficiente para determinar el instante de inicio de una respuesta de señal periódicamente oscilante.

60

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 1. Obsérvese que el semiperiodo máximo puede ser el semiperiodo que tiene la mayor amplitud en el primer conjunto de semiperiodos incluso si hay un semiperiodo con una amplitud más alta en el segundo conjunto. De manera similar, puede ser el semiperiodo que tenga la amplitud más alta en el segundo conjunto de semiperiodos, incluso si hay un semiperiodo con una amplitud más alta en el primer conjunto. Por lo tanto, el semiperiodo máximo no es necesariamente el semiperiodo en la respuesta de señal que tiene la amplitud más alta (aunque podría serlo).

65

En este caso, por periódicamente oscilante debe entenderse que la respuesta de señal es esencialmente periódica en su naturaleza, aunque puede haber una cierta variación en la duración de los semiperiodos. En particular, puede haber un desplazamiento gradual dentro de la respuesta de señal, de tal manera que el primer semiperiodo tenga una duración más larga, mientras que la duración de los semiperiodos siguientes se reduzca gradualmente.

5 La presente invención se basa en el entendimiento de que una manera fiable de determinar el instante de inicio de una respuesta de señal periódicamente oscilante es encontrar el semiperiodo máximo (es decir, el semiperiodo de una polaridad dada que tiene la amplitud más alta) y, a continuación, utilizar una relación entre el semiperiodo máximo y el instante de inicio de la respuesta de señal para determinar el instante de inicio.

10 Una ventaja de este enfoque es que el semiperiodo que tiene la amplitud más alta en el conjunto seleccionado habitualmente se detecta con facilidad (incluso si hay ruido presente). Por lo tanto, el método puede utilizarse con un equipo de medición menos sofisticado, lo que permite una solución rentable.

15 La relación entre el semiperiodo máximo y el instante de inicio de la respuesta de señal puede conocerse por adelantado. Por ejemplo, la naturaleza de la respuesta de señal puede ser tal que el semiperiodo que tiene la amplitud más alta sea siempre el primer semiperiodo en el segundo conjunto. Esto permite una manera sencilla y computacionalmente eficiente de determinar el instante de inicio. El método de acuerdo con la invención permite una medición precisa también en situaciones donde la relación entre el semiperiodo máximo y el instante de inicio no se conoce por adelantado, tal como cuando se ha distorsionado la respuesta de señal. Una ventaja es que puesto que el método es menos sensible a la distorsión de lo que puede provocarse por un cambio en el valor Q del transductor debido a cambios en la temperatura, puede utilizarse un transductor de bajo coste. Esto permite un dispositivo de medición más rentable.

25 El valor umbral puede seleccionarse con el fin de distinguir las oscilaciones que pertenecen a la respuesta de señal de las oscilaciones que son ruido. El ruido puede ser un ruido aleatorio, ruido de interferencia o ruido relacionado con los ecos que surgen de las perturbaciones en la propagación de las ondas.

30 Cuando la relación está por debajo del valor umbral, una interpretación puede ser que el semiperiodo máximo es el semiperiodo en el conjunto seleccionado que se produce inmediatamente después del instante de inicio de la respuesta de señal. Esto permite establecer la relación entre el semiperiodo máximo y el instante de inicio.

35 Cuando la relación es al menos igual a (es decir, igual o mayor que) el valor umbral, una interpretación puede ser que hay al menos un semiperiodo en el conjunto seleccionado que se produce entre el semiperiodo máximo y el instante de inicio de la respuesta de señal.

40 De acuerdo con una realización, el conjunto seleccionado es el segundo conjunto de semiperiodos. Una ventaja es que la amplitud del semiperiodo que tiene la amplitud más alta en el segundo conjunto habitualmente es mayor que la amplitud del semiperiodo que tiene la amplitud más alta en el primer conjunto. Por lo tanto, el semiperiodo máximo se detecta más fácilmente y la medición se vuelve menos sensible al ruido.

De acuerdo con una realización, el semiperiodo anterior pertenece al conjunto seleccionado. Una ventaja es que solo se necesita detectar una polaridad, lo que permite un dispositivo de medición más rentable.

45 El instante de cruce por cero puede ser preferentemente el instante de cruce por cero que se produce inmediatamente antes o inmediatamente después del semiperiodo máximo, ya que su detección es menos sensible al ruido. Sin embargo, se reconoce que también pueden utilizarse otros instantes de cruce por cero.

50 El semiperiodo máximo y/o la relación entre las amplitudes (es decir, la relación entre la amplitud del semiperiodo anterior y la amplitud del semiperiodo máximo) puede determinarse a partir de una representación no muestreada de la respuesta de señal. Como no se requiere muestreo, esto permite una implementación rentable y un consumo de energía reducido. Además, se elimina cualquier imprecisión que pueda estar asociada con el procedimiento de muestreo.

55 El semiperiodo máximo puede determinarse: detectando un conjunto de periodos de tiempo durante los que la amplitud de la respuesta de señal supera una amplitud umbral y tiene una polaridad equivalente a la polaridad de los semiperiodos en el conjunto seleccionado; e interpretando el periodo de tiempo más largo en el conjunto de periodos de tiempo como correspondiente al semiperiodo máximo. Para una representación no muestreada de la respuesta de señal, a menudo puede ser conveniente usar el tiempo durante el que la amplitud de un semiperiodo supera un nivel de amplitud dado como una indicación de la amplitud en lugar de intentar medir directamente la amplitud del semiperiodo.

60 El método puede comprender además las etapas de: interpretar el periodo de tiempo que precede inmediatamente al periodo de tiempo más largo en el conjunto de periodos de tiempo como correspondiente al semiperiodo anterior; y determinar la relación entre la amplitud del semiperiodo anterior y la amplitud del semiperiodo máximo basándose en las duraciones de los periodos de tiempo asociados.

Una ventaja es que estas etapas pueden aplicarse a una representación no muestreada de la respuesta de señal.

De acuerdo con una realización, el semiperiodo máximo puede determinarse proporcionando la respuesta de señal a un circuito que comprende un medio de almacenamiento de energía; adquiriendo una señal de salida procedente de dicho circuito, en el que dicha señal de salida corresponde a una tensión sobre el medio de almacenamiento de energía; muestreando la señal de salida adquirida; seleccionando un conjunto de muestras, en el que cada muestra en dicho conjunto de muestras se asocia con un semiperiodo diferente de los semiperiodos en el conjunto seleccionado de los conjuntos de semiperiodos primero y segundo y se detecta en una ocasión predeterminada relativa al semiperiodo asociado; y determinando el semiperiodo que está asociado con la muestra con la tensión más alta como el semiperiodo máximo.

Como el circuito habitualmente está configurado de tal manera que la reducción de tensión del medio de almacenamiento de energía es más lenta que la variación de tensión de la respuesta de señal periódicamente oscilante, la muestra detectada asociada con un semiperiodo específico puede usarse como una indicación directa de la amplitud de ese semiperiodo. Esto permite un procedimiento que utiliza datos muestreados a la vez que se minimiza el procesamiento de datos requerido y la capacidad de memoria consumida, lo que permite usar un microordenador de bajo coste. Además, la reducción de tensión menos rápida significa que puede lograrse un resultado fiable también para un conversor A/D de bajo coste.

La relación entre la amplitud del semiperiodo anterior y la amplitud del semiperiodo máximo puede determinarse proporcionando la respuesta de señal periódicamente oscilante a un circuito que comprende un medio de almacenamiento de energía; adquiriendo una señal de salida procedente de dicho circuito, en el que la señal de salida corresponde a una tensión sobre dicho medio de almacenamiento de energía; muestreando la señal de salida adquirida; seleccionando una muestra asociada con el semiperiodo anterior y una muestra asociada con el semiperiodo máximo; y determinando la relación entre la amplitud del semiperiodo anterior y la amplitud del semiperiodo máximo como la relación entre la tensión de la muestra asociada con el semiperiodo anterior y la tensión de la muestra asociada con la amplitud del semiperiodo máximo. La muestra asociada con el semiperiodo anterior puede detectarse en una ocasión predeterminada relativa al semiperiodo anterior. De manera similar, la muestra asociada con el semiperiodo máximo puede detectarse en una ocasión predeterminada correspondiente relativa al semiperiodo máximo. Una ventaja es que, debido a una reducción de tensión menos rápida, también puede lograrse un resultado fiable para un conversor A/D de bajo coste.

La ocasión predeterminada relativa al semiperiodo en el que se detecta la muestra puede determinarse determinando un instante de cruce por cero que se produce al final del semiperiodo; y detectando una muestra que se produce un tiempo predeterminado después del instante de cruce por cero identificado. Por ejemplo, puede detectarse la siguiente muestra (es decir, la muestra que se produce inmediatamente después del cruce por cero).

Una señal de disparo usada para generar la respuesta de señal puede configurarse de tal manera que, para una respuesta de señal ideal, el semiperiodo con la amplitud más grande aparece tan pronto como sea posible. Preferentemente, el primer semiperiodo en el segundo conjunto de semiperiodos es el semiperiodo con la amplitud más grande.

Un ejemplo de tal señal de disparo sería un pulso rectangular que tiene una duración de aproximadamente un semiperiodo. Como alternativa, puede usarse un pulso rectangular que tiene una duración de dos semiperiodos. Tal pulso de disparo puede proporcionar una respuesta de señal más adecuada para la detección de acuerdo con la presente invención. En particular, la respuesta de señal resultante del segundo semiperiodo de la señal de disparo servirá para suprimir partes de la respuesta de señal resultantes del primer semiperiodo de la señal de disparo, garantizando de este modo que la amplitud más grande aparecerá pronto en la respuesta de señal.

Los expertos en la materia reconocen que también pueden usarse otros tipos de señales de disparo para generar una respuesta de señal similar. Por lo tanto, puede variar la forma del pulso. Por ejemplo, puede usarse un pulso triangular o un pulso que tenga una forma redondeada. Además, puede variar la duración de la señal de disparo. Otros ejemplos de señales de disparo serían un impulso, una etapa o un pitido.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un software para su ejecución en un dispositivo de procesamiento que tiene unas instrucciones de programa para la implementación del método descrito anteriormente.

De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo para la medición acústica que comprende: un medio transductor para transmitir y recibir una respuesta de señal; y un dispositivo de control dispuesto para realizar el método de acuerdo con la invención para determinar el instante de inicio de la respuesta de señal recibida.

El dispositivo de medición acústica puede comprender además un circuito que comprende un medio de almacenamiento de energía; y un conversor de analógico a digital. Un ejemplo de un circuito de este tipo sería un rectificador de media onda.

Otros objetivos, características y ventajas aparecerán a partir de la siguiente descripción detallada, de las reivindicaciones dependientes adjuntas así como de los dibujos.

Breve descripción de los dibujos

5 Lo anterior, así como objetos, características y ventajas adicionales de la presente invención, se entenderán mejor a través de la siguiente descripción detallada ilustrativa y no limitante de las realizaciones preferidas de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, donde los mismos números de referencia se usarán para elementos similares, en los que:

10 la figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de medición de nivel acústico;
 la figura 2a ilustra esquemáticamente el aspecto principal de una señal de disparo;
 la figura 2b-d ilustra esquemáticamente el aspecto principal de una respuesta de señal, y los periodos de tiempo asociados y los instantes de cruce por cero registrados por el dispositivo de control;
 15 la figura 2e-g ilustra esquemáticamente el aspecto principal de otra respuesta de señal, y los periodos de tiempo asociados y los instantes de cruce por cero registrados por el dispositivo de control;
 la figura 3 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra un procedimiento para determinar el instante de inicio de una respuesta de señal periódicamente oscilante;
 la figura 4 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra otro procedimiento para determinar el instante de inicio de una respuesta de señal periódicamente oscilante;
 20 la figura 5 ilustra otra respuesta de señal;
 la figura 6 ilustra otra respuesta de señal más;
 la figura 7a ilustra esquemáticamente una realización alternativa de la invención donde el dispositivo de control comprende un rectificador de media onda y un conversor A/D;
 25 la figura 7b ilustra esquemáticamente un ejemplo de un rectificador de media onda;
 la figura 8 ilustra esquemáticamente una señal de entrada suministrada al rectificador de media onda y una señal de salida resultante.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

30 La figura 1, muestra esquemáticamente un sistema de medición del nivel acústico de acuerdo con una realización de la invención. El sistema puede operar habitualmente por debajo del ultrasonido (es decir, por debajo de 20 kHz). Sin embargo, el método de acuerdo con la invención también puede aplicarse a sistemas que operan a frecuencias más altas (es decir, frecuencias de ultrasonidos).

35 El sistema de medición de nivel acústico 100 comprende un transmisor-receptor 102 que está conectado eléctricamente a un transductor electro-acústico 104 dispuesto en la parte superior de un tubo 106. El transductor 104 puede estar constituido por una sola unidad, como se muestra en la figura 1, o por un altavoz en combinación con un micrófono.

40 El tubo 106 se extiende a través de la parte superior de un recipiente o tanque 108 que contiene un líquido 110, cuyo nivel en el recipiente va a medirse.

45 Además, el transmisor-receptor 102 está conectado a un dispositivo de control electrónico 120, que está dispuesto para controlar el transmisor-receptor 102 y para calcular el nivel de fluido basándose en la señal transmitida y recibida por el transmisor-receptor 102.

50 Durante el funcionamiento, el transductor acústico 104 recibe a intervalos predeterminados una primera señal eléctrica E1, también denominada señal de disparo E1, procedente del transmisor 102 y genera en respuesta a la misma un pulso acústico P1, al que está permitido propagarse a través del tubo 106 para reflejarse contra la superficie de líquido 110a, que está dispuesta por encima del borde inferior del tubo 106. Un cierto tiempo después de la transmisión, denominado tiempo de tránsito del pulso, el pulso reflejado o eco P2 se recibe por el transductor 104, que convierte el ecopulso P2 en una segunda señal eléctrica E2 también denominada respuesta de señal E2.

55 El dispositivo de control electrónico 120 recibe la señal de disparo E1, lo que provoca el pulso transmitido P1, y también la respuesta de señal E2, que se genera en la recepción del pulso reflejado P2 y determina el tiempo de tránsito del pulso de las dos señales eléctricas E1 y E2 para evaluar el nivel de fluido.

60 La figura 2 ilustra esquemáticamente el aspecto principal de las señales eléctricas E1 y E2.

65 La señal de disparo E1 recibida por el transductor es en este caso un pulso rectangular con una duración de un semiperiodo y una polaridad negativa, mientras que la respuesta de señal resultante E2 es una señal periódicamente oscilante que tiene una forma esencialmente sinusoidal. El instante de inicio de la respuesta de señal E2 está indicado por t_0 , y el primer semiperiodo E2a en la respuesta de señal tiene en este caso una polaridad negativa, es decir, la misma polaridad que la señal de disparo E1. Sin embargo, se reconoce que puede cambiarse la polaridad, por ejemplo, conmutando los polos del transductor.

Como se ilustra en la figura 2b, la respuesta de señal E2 comprende un primer conjunto de semiperiodos E2a-d que tienen una polaridad negativa, y un segundo conjunto de semiperiodos E2e-h que tienen una polaridad positiva. Además, la respuesta de señal E2 habitualmente está precedida por el ruido N1, en este caso en forma de pequeñas oscilaciones.

5 Los instantes en los que la respuesta de señal E2 cruza el nivel de reposo 202 (es decir, cuando la amplitud de la respuesta de señal es cero con respecto al nivel de reposo) se denominan instantes de cruce por cero ZC1-ZC2. En este caso se supone que el nivel de reposo está a 0 V, aunque también puede compensarse por una tensión de CC.

10 A menos que la respuesta de señal E2 se distorsione de alguna manera (lo que se analizará con más detalle a continuación en relación con la figura 2e), el pulso rectangular E1 provocará una respuesta de señal E2 donde el primer semiperiodo positivo E2e es el semiperiodo positivo en la respuesta de señal que tiene la amplitud más alta, mientras que la amplitud de los semiperiodos positivos posteriores E2f-h se atenuará rápidamente, creando de este modo una respuesta de señal que tiene un máximo de amplitud distinto cerca del comienzo de la respuesta de
15 señal. Esta señal sin distorsión es un ejemplo de una respuesta de señal ideal.

Con el fin de determinar con precisión el tiempo de tránsito del pulso, el dispositivo de control electrónico 120 habitualmente utiliza el instante de inicio de la señal de disparo E1 y el instante de inicio de la respuesta de señal E2.

20 Como reconocen los expertos en la materia, es sencillo determinar el instante de inicio de la señal de disparo E1 y, por lo tanto, no se analizará con más detalle en el presente documento.

Con el fin de determinar el instante de inicio t_0 de la respuesta de señal E2, el dispositivo de control electrónico 120 comprende un amplificador 122, un comparador 124, y un dispositivo de procesamiento 126 con una memoria asociada 128.

El comparador 124 está configurado para detectar cuándo la amplitud de la respuesta de señal E2 supera un umbral de amplitud.

30 En este caso, el comparador sólo detecta cuándo la amplitud de la respuesta de señal E2 supera un umbral de amplitud positivo (es decir, los semiperiodos negativos E2a-d no se evaluarán en este caso, aunque tal realización sería posible). Los expertos en la materia reconocen que el nivel del umbral de amplitud puede variar dependiendo de la aplicación. Sin embargo, un valor típico del umbral de amplitud puede ser aproximadamente el 50 % de la
35 tensión de saturación del comparador.

El umbral de amplitud 204 del comparador 124 se muestra en relación con la respuesta de señal E2 en la figura 2b. En este caso, el primer semiperiodo positivo E2e y el segundo semiperiodo positivo E2f de la respuesta de señal superan el umbral de amplitud 204 del comparador, mientras que los semiperiodos posteriores E2g-h están por debajo del umbral de amplitud 204. También el ruido N1 está por debajo del umbral de amplitud 204 en el ejemplo
40 ilustrado.

La amplitud de la respuesta de señal E2 puede adaptarse ajustando la amplificación del amplificador 122 dispuesto entre el receptor 102 y el comparador 124. Por lo tanto, es posible reducir, por ejemplo, la amplificación de manera que solo uno (o ninguno) de los semiperiodos positivos superen el umbral de amplitud o aumentar la amplificación de manera que más de dos semiperiodos positivos superen el umbral de amplitud.

El comparador 124 está conectado al dispositivo de procesamiento 126, que registra cuándo una señal recibida tiene una amplitud superior al umbral de amplitud 204. A continuación, esta información puede almacenarse en la memoria 128.

El dispositivo de procesamiento 126 también tiene una funcionalidad para registrar cuándo la señal recibida cruza el nivel de reposo 202, y almacenar esta información en la memoria 128.

55 Durante el funcionamiento, cuando una respuesta de señal E2 se recibe por el receptor 102, el dispositivo de control electrónico 120 registra un conjunto de periodos de tiempo que representan los intervalos durante los que la amplitud de la señal recibida E2 supera el umbral de amplitud positivo 204.

60 Para la situación de medición mostrada en la figura 2b, dos periodos de tiempo T_1 y T_2 se registran por el dispositivo de control como se ilustra en la figura 2c. En este caso, el periodo de tiempo T_1 indica la aparición del semiperiodo E2e, y el periodo de tiempo T_2 indica la aparición del semiperiodo E2f.

Además, el dispositivo de control electrónico 120 registra un conjunto de instantes de cruce por cero ZC1-ZC2 para la respuesta de señal E2 como se ilustra en la figura 2d.

65

Un método para determinar el instante de inicio de la respuesta de señal E2 se describirá a continuación con referencia a la figura 2 y al diagrama de bloques esquemático ilustrado en la figura 3.

5 Obsérvese que en este caso se supone que el semiperiodo positivo que tiene la amplitud más alta en la respuesta de señal E2 es el primer semiperiodo positivo E2e.

10 En primer lugar, en la etapa 301, un semiperiodo máximo se determina como el semiperiodo positivo que tiene la amplitud más alta. El periodo de tiempo más largo T_1 registrado por el dispositivo de control 120 se interpreta en este caso como una indicación de que el semiperiodo positivo E2e tiene la amplitud más alta.

15 Puede observarse que en alguna situación puede ser conveniente ajustar la amplificación del amplificador 122 de manera que sólo el semiperiodo positivo que tiene la amplitud más alta supere el umbral de amplitud 204 para facilitar la identificación del semiperiodo máximo.

20 A continuación, en la etapa 302, se determina un instante de cruce por cero de la respuesta de señal que se produce a una distancia de tiempo conocida desde el semiperiodo máximo E2e. Puede ser preferible utilizar el instante de cruce por cero que se produce inmediatamente antes o inmediatamente después del semiperiodo máximo E2e. Sin embargo, también pueden usarse otros instantes de cruce por cero. En este caso, se usa el instante de cruce por cero ZC1 que se produce inmediatamente antes del semiperiodo máximo E2e.

25 En la etapa 303, el instante de inicio t_0 de la respuesta de señal E2 se determina a continuación basándose en el instante de cruce por cero ZC1 y una relación entre el semiperiodo máximo E2e y el instante de inicio t_0 de la respuesta de señal. Como se ha supuesto que el semiperiodo positivo que tiene la amplitud más alta en la respuesta de señal es el primer semiperiodo positivo E2e, el semiperiodo máximo E2e es en este caso por definición el primer semiperiodo positivo en la respuesta de señal. Como la respuesta de señal E2 se inicia con un semiperiodo negativo, se sabe que se producirá un semiperiodo entre el semiperiodo máximo E2e y el instante de inicio t_0 (es decir, el primer semiperiodo negativo E2a). Además, como el instante de cruce por cero ZC1 se ha seleccionado como el instante de cruce por cero que se produce inmediatamente antes del semiperiodo máximo E2e, puede concluirse que el instante de inicio t_0 de la respuesta de señal se produce un semiperiodo antes del instante de cruce por cero ZC1.

Suponiendo que la respuesta de señal sea esencialmente sinusoidal, el instante de inicio puede calcularse como:

$$t_0 = t_{ZC1} - \frac{T}{2},$$

35 donde

40 t_0 es el instante de inicio de la respuesta de señal;
 t_{ZC1} es el momento de aparición del instante de cruce por cero ZC1; y
 T es el tiempo para un periodo de la respuesta de señal oscilante.

45 Aunque el método descrito anteriormente puede aplicarse en una amplia gama de situaciones, hay situaciones donde no puede suponerse que el semiperiodo positivo que tiene la amplitud más alta en la respuesta de señal sea el primer semiperiodo positivo.

Por ejemplo, hay situaciones donde la respuesta de señal E2 puede distorsionarse de manera que el semiperiodo máximo ya no sea el primer semiperiodo positivo. Esto se ilustra mediante la respuesta de señal distorsionada E2' en la figura 2e donde el semiperiodo positivo que tiene la amplitud más alta es el segundo semiperiodo positivo E2'f.

50 Tal distorsión puede provocarse, por ejemplo, por un cambio en el valor Q del transductor 104. El valor Q del transductor puede variar en función de la temperatura, especialmente para un transductor de bajo coste. Por lo tanto, puede producirse una distorsión de la respuesta de señal en aplicaciones donde la temperatura no es estable.

55 Se reconoce que si no se sabe si el semiperiodo máximo es el primer o el segundo semiperiodo positivo en la respuesta de señal esto puede conducir a un error de medición de un periodo, disminuyendo de este modo significativamente la precisión de medición del sistema de medición de nivel acústico.

60 Con el fin de superar este problema, puede determinarse el número de semiperiodos que se producen entre el semiperiodo máximo E2'f y el instante de inicio t_0 de la respuesta de señal E2'.

Para hacer esto, una relación entre una amplitud del semiperiodo positivo E2'e inmediatamente anterior al semiperiodo máximo y una amplitud del semiperiodo máximo E2'f se compara con un valor umbral seleccionado con el fin de distinguir las oscilaciones pertenecientes a la respuesta de señal de las oscilaciones que son ruido.

En una aplicación típica, el valor umbral puede ser de aproximadamente el 40 %. Sin embargo, el valor umbral preferido puede variar en función de la magnitud del ruido y de la magnitud de la distorsión de la respuesta de señal.

5 Por ejemplo, en aplicaciones donde la distorsión esperada de la respuesta de señal es baja, el valor umbral puede establecerse tan alto como el 80 % para reducir el riesgo de que cualquier ruido se interprete como parte de la respuesta de señal. También puede preferirse un valor umbral alto si hay mucho ruido presente.

10 Por otro lado, en condiciones favorables con poco ruido presente, el valor umbral puede establecerse tan bajo como el 15 % o incluso el 10 %. Un valor umbral bajo permite usar un transductor de bajo coste (con un valor Q menos estable), lo que permite un dispositivo de medición más rentable.

15 En algunas aplicaciones, puede ser conveniente determinar el número de semiperiodos que se producen entre el semiperiodo máximo E2'f y el instante de inicio t_0 de la respuesta de señal E2' seleccionando el umbral de amplitud 204 del comparador 124 de manera que coincida con el valor umbral. Por lo tanto, si hay un periodo de tiempo registrado por el comparador 124 que se produce antes del periodo de tiempo asociado con el semiperiodo máximo, este periodo de tiempo será el primer semiperiodo positivo.

20 A continuación, se describirá un método para determinar el instante de inicio de la respuesta de señal E2' con referencia a la figura 2e-g y al diagrama de bloques esquemático ilustrado en la figura 4.

En esta realización se supone que el umbral de amplitud 204 del comparador 124 se establece de manera que coincida con el valor umbral. También se supone que el semiperiodo máximo es el primer o el segundo semiperiodo positivo en la respuesta de señal.

25 En primer lugar, en la etapa 401, se determina un semiperiodo máximo como el semiperiodo positivo que tiene la amplitud más alta. El periodo de tiempo más largo T_2 registrado por el dispositivo de control 120 se interpreta en este caso como una indicación de que el semiperiodo positivo E2'f tiene la amplitud más alta.

30 A continuación, en la etapa 402, se determina el semiperiodo anterior como el semiperiodo positivo inmediatamente anterior al semiperiodo máximo E2'f. El periodo de tiempo T_1 inmediatamente anterior al periodo de tiempo más largo T_2 se interpreta de este modo como una indicación de que el semiperiodo positivo E2'e es inmediatamente anterior al semiperiodo máximo E2'f.

35 En la etapa 403, se determina una relación entre una amplitud del semiperiodo anterior y una amplitud del semiperiodo máximo, y, a continuación, en la etapa 404, se compara esta relación de amplitud con un valor umbral. Sin embargo, en esta realización, las etapas 403 y 404 no se realizan explícitamente. Como el umbral de amplitud 204 del comparador 124 se establece para que coincida con el valor umbral, la mera existencia del periodo de tiempo T_1 indica que el semiperiodo anterior pertenece a la respuesta de señal (mientras que si no se detectara un periodo de tiempo antes del periodo de tiempo T_2 esto indicaría que el semiperiodo máximo sería el primer semiperiodo positivo en la respuesta de señal).

40 En la etapa 405, se determina un instante de cruce por cero de la respuesta de señal que se produce a una distancia de tiempo conocida del semiperiodo máximo E2'f. En este caso, se usa el instante de cruce por cero ZC'1 que se produce inmediatamente antes del semiperiodo máximo E2'f.

45 En la etapa 406, el instante de inicio t_0 de la respuesta de señal E2' se determina a continuación basándose en el instante de cruce por cero ZC'1 y una relación entre el semiperiodo máximo E2'f y el instante de inicio t_0 . Como en la etapa 402 se ha determinado que hay un semiperiodo positivo (es decir, el semiperiodo positivo E2'e) que se produce entre el semiperiodo máximo E2'f y el instante de inicio t_0 , se sabe que hay tres semiperiodos (es decir, E2'a, E2'b y E2'e) que se producen entre el semiperiodo máximo E2'f y el instante de inicio t_0 . Además, como el instante de cruce por cero se ha seleccionado como el instante de cruce por cero ZC'1 que se produce inmediatamente antes del semiperiodo máximo E2'f, puede concluirse que el instante de inicio t_0 de la respuesta de señal se produce tres semiperiodos antes del instante de cruce por cero ZC'1.

55 Suponiendo que la respuesta de señal sea esencialmente sinusoidal, el instante de inicio puede calcularse como:

$$t_0 = t_{ZC'1} - 3 \cdot \frac{T}{2},$$

60 donde

t_0 es el instante de inicio de la respuesta de señal;
 $t_{ZC'1}$ es el momento de aparición del instante de cruce por cero ZC'1; y
 T es el tiempo para un periodo de la respuesta de señal oscilante.

En algunas aplicaciones puede haber una variación en la duración de los semiperiodos en la respuesta de señal (es decir, el tiempo T no es constante a lo largo de la respuesta de señal). Los expertos en la materia reconocen que es posible compensar dicha variación.

5 Naturalmente, el método también funciona para una respuesta de señal donde el semiperiodo máximo es el primer semiperiodo positivo. Esto puede entenderse mirando la respuesta de señal E2 ilustrada en la figura 2b. En este caso, no habrá un periodo de tiempo registrado antes del periodo de tiempo más largo T₁, que está asociado con el semiperiodo máximo E2e. Por lo tanto, se sabe que el semiperiodo máximo E2e es el primer semiperiodo positivo. A
10 continuación, puede determinarse el instante de inicio descubriendo el instante de cruce por cero ZC1 inmediatamente antes del semiperiodo máximo E2e. El instante de inicio t₀ de la respuesta de señal E2 se producirá un semiperiodo antes del instante de cruce por cero ZC1.

De acuerdo con una realización alternativa, el umbral de amplitud del comparador es menor que el valor umbral, pudiendo las etapas 403 y 404 realizarse explícitamente como se describe a continuación con referencia a las
15 figuras 2e-g y la figura 4.

En la etapa 403, la relación entre la amplitud A_{anterior} del semiperiodo anterior E2'e y la amplitud A_{máxima} del semiperiodo máximo E2'f se determina basándose en las duraciones de los periodos de tiempo asociados.

20 Suponiendo que la respuesta de señal E2' sea esencialmente sinusoidal, las amplitudes del semiperiodo respectivo pueden calcularse por trigonometría básica.

A continuación, en la etapa 404, la relación se compara con el valor umbral para determinar si el semiperiodo anterior es parte de la respuesta de señal, o debería considerarse como ruido. Si la relación supera el valor umbral,

25 es decir, $\frac{A_{anterior}}{A_{máxima}} \geq umbral$, el semiperiodo anterior se considera que pertenece a la respuesta de señal, si no, el semiperiodo anterior se considera ruido.

La figura 5 ilustra una situación donde la amplitud de umbral 204 es lo suficientemente baja como para que el ruido N1 se registre por el comparador. En tal situación, se determina una relación entre una amplitud de un semiperiodo anterior N1a (resultante del ruido) y una amplitud del semiperiodo máximo E2e. Sin embargo, como la relación está
30 en este caso por debajo del valor umbral, el semiperiodo anterior N1a no se considerará en este caso como parte de la respuesta de señal, y el semiperiodo máximo E2e se considerará como el primer semiperiodo positivo en la respuesta de señal.

35 El método de acuerdo con la invención también puede aplicarse cuando el semiperiodo máximo está precedido por más de un semiperiodo positivo descubriendo el semiperiodo máximo y, a continuación, evaluando de manera iterativa cuántos semiperiodos positivos están situados entre el semiperiodo máximo y el instante de inicio.

40 A continuación, se describirá un ejemplo de esto con referencia a la figura 6. En este caso, dos semiperiodos positivos E2'e-f están situados entre el semiperiodo máximo E2'g y el instante de inicio t₀.

En primer lugar, se determina el semiperiodo máximo E2'g. A continuación, se determina la relación entre la amplitud del semiperiodo anterior E2'f y el semiperiodo máximo E2'g. Como esta relación supera el valor umbral, el semiperiodo anterior E2'f se interpreta como un semiperiodo que se produce entre el semiperiodo máximo y el
45 instante de inicio t₀. A continuación, se determina una relación entre una amplitud de un nuevo semiperiodo anterior (en este caso el semiperiodo positivo E2'e inmediatamente anterior al semiperiodo identificado más recientemente E2'f) y una amplitud del semiperiodo identificado más recientemente E2'f. Como la relación entre la amplitud del nuevo semiperiodo anterior E2'e y el semiperiodo identificado más recientemente E2'f supera el valor umbral, el nuevo semiperiodo anterior E2'e se interpreta como un semiperiodo que se produce entre el semiperiodo máximo E2'g y el instante de inicio t₀. En la siguiente iteración, se determina una relación entre la amplitud del semiperiodo N1a que es ruido y la amplitud del semiperiodo identificado más recientemente E2'e. Como esta relación está por
50 debajo del valor umbral, no se tendrá en cuenta el semiperiodo N1a y el semiperiodo E2'e se considerará como el primer semiperiodo positivo en la respuesta de señal. Esto también significa que se detiene la iteración.

55 En las realizaciones donde se calcula una relación de amplitud, el umbral de amplitud 204 del comparador se selecciona preferentemente con el fin de lograr una buena indicación de la amplitud de los semiperiodos evaluados.

Si el umbral de amplitud se establece demasiado alto (en relación con la amplitud de los semiperiodos evaluados), hay un riesgo de que el primer semiperiodo positivo en la respuesta de señal no se detecte por el comparador. Por
60 otro lado, si el umbral de amplitud se establece demasiado bajo (en relación con la amplitud de los semiperiodos evaluados), un pequeño cambio en el tiempo registrado por el comparador corresponderá a un cambio relativamente grande en la amplitud de la respuesta de señal (ya que el derivado de la respuesta de señal es grande cerca del

nivel de reposo y sucesivamente se hace más pequeño hasta que es casi cero cerca de la parte superior del semiperiodo).

5 Para encontrar un umbral de amplitud adecuado, puede realizarse un procedimiento de calibración cuando se inicia la medición y/o cuando se pierde la señal. A continuación, se describe un ejemplo del mismo con referencia a la figura 1 y la figura 2b.

10 Cuando se inicia el procedimiento de calibración, la amplificación del amplificador 122 es baja. A continuación, se generan una serie de señales de disparo esencialmente idénticas E1. Para cada señal de disparo E1, se registra una respuesta de señal recibida correspondiente E2 por el dispositivo de procesamiento 126. El dispositivo de procesamiento 126 controla el amplificador 122 por medio de un circuito de realimentación y aumenta la amplificación para cada respuesta de señal recibida E2 hasta que la amplitud del semiperiodo positivo que tiene la amplitud más alta (en este caso, la amplitud máxima E2e) satura el comparador 124. En una aplicación típica, la tensión de saturación del comparador 124 puede ser de aproximadamente 5 V.

15 A continuación, el umbral de amplitud 204 se establece en aproximadamente el 50 % de la tensión de saturación del comparador, es decir, en este caso aproximadamente 2,5 V.

20 La figura 7a ilustra esquemáticamente una realización alternativa de la invención. Esta realización difiere de las realizaciones descritas anteriormente en que el dispositivo de control electrónico 120 comprende un circuito 702 que comprende un medio de almacenamiento de energía C, y un convertor de analógico a digital (A/D) 704 para muestrear una señal adquirida del circuito 702. Como se ilustra esquemáticamente en la figura 7b, el circuito 702 puede ser un rectificador de media onda 702 que comprende un diodo 706, un resistor R1, y el medio de almacenamiento de energía C que es en este caso un condensador C.

25 A continuación, se describirá el funcionamiento del dispositivo de control electrónico 120 con referencia a las figuras 7a-b y la figura 8. En este caso, la tensión de entrada V_{entrada} aplicada al rectificador de media onda 702 es la respuesta de señal E2'. Además, en este caso, se supone que el condensador C se descarga inicialmente.

30 La figura 8 ilustra esquemáticamente la tensión de entrada V_{entrada} aplicada al rectificador de media onda 702 y la tensión de salida correspondiente V_{salida} (que es en este caso la tensión sobre el condensador C) emitida por el rectificador de media onda 702 en función del tiempo.

35 Cuando el primer semiperiodo positivo N1a (que en este caso es ruido) se recibe por el rectificador de media onda 702, la tensión de entrada V_{entrada} aplicada al rectificador de media onda 702 se aumenta gradualmente, dando como resultado un aumento correspondiente en la tensión de salida V_{salida} del rectificador de media onda 702. La tensión de entrada V_{entrada} también carga el condensador C. A continuación, a medida que se reduce la tensión de entrada V_{entrada} (es decir, después del máximo del primer semiperiodo positivo N1a) el condensador C comienza a descargarse, y se reduce la tensión de salida V_{salida} del rectificador de media onda 702. Sin embargo, tal como aparece en la figura 8, la reducción de tensión de la señal V_{salida} emitida por el circuito 702 es sustancialmente más lenta que la reducción de tensión de la respuesta de señal E2'.

45 A continuación, cuando el segundo semiperiodo positivo E2'e se recibe por el rectificador de media onda 702, la tensión de entrada V_{entrada} aumenta gradualmente de nuevo y cuando la tensión de entrada V_{entrada} supera la tensión sobre el condensador C, el condensador comienza a cargarse de nuevo. A continuación, a medida que se reduce la tensión de entrada V_{entrada} (es decir, después del máximo del segundo semiperiodo positivo E2'e), el condensador C comienza nuevamente a descargarse y se reduce de nuevo la tensión de salida V_{salida} .

50 A continuación, se repite este procedimiento para los semiperiodos positivos posteriores E2'f-i.

El convertor A/D 704 puede adaptarse habitualmente para muestrear de manera continua la señal V_{salida} emitida por el rectificador de media onda a una frecuencia de muestreo predeterminada.

55 Con el fin de determinar la amplitud de cada semiperiodo positivo E2'e-i, el dispositivo de control 120 puede configurarse para seleccionar un conjunto de muestras, en el que cada muestra (S_{N1a} , $S_{E2'e-i}$) se asocia con un semiperiodo diferente de los semiperiodos (N1a, E2'e-i), y se selecciona de tal manera que cada una de las muestras seleccionadas se detecta en una ocasión predeterminada relativa al semiperiodo en cuestión. Por ejemplo, el instante de cruce por cero al final del semiperiodo puede usarse para disparar el dispositivo de control 120 para almacenar la siguiente muestra adquirida desde el convertor A/D 704 en una memoria 128. En el ejemplo ilustrado, esto da como resultado las muestras, $S_{N1'a}$, $S_{E2'e}$, $S_{E2'f}$, $S_{E2'g}$, $S_{E2'h}$ y $S_{E2'i}$, como se indica en la figura 8. A continuación, el semiperiodo máximo E2'f puede descubrirse como el semiperiodo positivo asociado con la muestra con la amplitud más grande, es decir, en este caso el semiperiodo positivo E2'f es el semiperiodo máximo.

65 Obsérvese que, aunque la tensión de las muestras $S_{E2'g}$, $S_{E2'h}$ y $S_{E2'i}$, es en este caso más alta que la tensión de los semiperiodos correspondientes E2'g-i de la respuesta de señal, se logra un resultado preciso, ya que es suficiente para determinar que estos semiperiodos posteriores E2'g-i son más bajos que el semiperiodo anterior E2'f.

Después de que se haya determinado el semiperiodo máximo $E2'f$, puede determinarse el instante de inicio t_0 de la señal periódicamente oscilante $E2'$ de acuerdo con el procedimiento ilustrado en la figura 4. Al hacerlo así, la tensión de las muestras puede usarse para calcular la relación de amplitud. Por ejemplo, la relación entre la amplitud del semiperiodo anterior $E2'e$ y la amplitud del semiperiodo máximo $E2'f$ puede determinarse como la relación entre la tensión de la muestra $S_{E2'e}$ asociada con el semiperiodo anterior $E2'e$ y la tensión de la muestra $S_{E2'f}$ asociada con la amplitud del semiperiodo máximo $E2'f$.

Como se reconoce por los expertos en la materia, la velocidad de descarga del condensador C y, por lo tanto, la velocidad a la que se reduce la tensión de salida V_{salida} del rectificador de media onda puede ajustarse cambiando la resistencia del resistor $R1$ y/o la capacitancia del condensador C . Puesto que la tensión de salida V_{salida} se usa para comparar diferentes semiperiodos o para calcular una relación entre diferentes semiperiodos, la velocidad a la que se reduce la tensión de salida habitualmente no es crítica para la fiabilidad del procedimiento. Por lo tanto, la velocidad a la que se reduce la tensión de salida puede seleccionarse preferentemente para que sea lo suficientemente rápida para que se detecte un eco posterior. Como alternativa, el circuito puede comprender otro resistor (opcional) $R2$ que puede conectarse en paralelo con el resistor $R1$. Por lo tanto, cerrando un conmutador 708 después de que se haya detectado un eco, puede reiniciarse el rectificador de media onda. Anteriormente, la invención se ha descrito principalmente con referencia a algunas realizaciones. Sin embargo, como se apreciará fácilmente por los expertos en la materia, otras realizaciones además de las desveladas anteriormente son igualmente posibles dentro del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Por ejemplo, aunque el comparador descrito anteriormente solo detecta semiperiodos que tienen una polaridad positiva, sería posible tener una disposición donde el comparador detectase solo semiperiodos que tuvieran una polaridad negativa, o un comparador que detectase semiperiodos de ambas polaridades.

Además, en una situación donde se detectan semiperiodos de ambas polaridades, una relación entre las amplitudes de los semiperiodos que tienen polaridades opuestas puede determinarse y compararse con un valor umbral. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 2e, una relación entre la amplitud del semiperiodo $E2'f$ y la amplitud del semiperiodo $E2'b$ puede determinarse y compararse con un valor umbral cuando se determina el número de semiperiodos situados entre el semiperiodo máximo y el instante de inicio t_0 .

También una relación entre las amplitudes de dos semiperiodos negativos puede determinarse y compararse con un valor umbral cuando se determina el número de semiperiodos situados entre el semiperiodo máximo y el instante de inicio t_0 .

Además, para realizaciones donde se usa el muestreo, puede ser posible muestrear directamente la respuesta de señal si el conversor A/D tiene una frecuencia de muestreo suficientemente alta (es decir, puede omitirse el circuito con el medio de almacenamiento de energía).

Se reconoce que aunque el ejemplo ilustrado muestra un paquete de ondas que se propaga en una guía de ondas, la invención puede aplicarse igualmente a un paquete de ondas que se propaga al aire libre.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar el instante de inicio (t_0) de una respuesta de señal acústica (E2; E2'), en el que dicha respuesta de señal comprende un primer conjunto de semiperiodos (E2a-d; E2'a-d) que tienen una polaridad igual a una polaridad del primer semiperiodo (E2a; E2'a) en la respuesta de señal, y un segundo conjunto de semiperiodos (E2e-h; E2'e-h) que tienen una polaridad opuesta a la polaridad del primer semiperiodo (E2a; E2'a) en la respuesta de señal, comprendiendo dicho método las etapas de:
- determinar un semiperiodo máximo (E2e; E2'f) como el semiperiodo con la amplitud más alta en un conjunto seleccionado de dichos conjuntos primero y segundo;
- determinar un instante de cruce por cero (ZC1; ZC'1) de dicha respuesta de señal que se produce a una distancia de tiempo conocida de dicho semiperiodo máximo (E2e; E2'f);
- determinar el instante de inicio (t_0) de dicha respuesta de señal (E2; E2') basándose en dicho instante de cruce por cero (ZC1; ZC'1) y una relación entre dicho semiperiodo máximo (E2e; E2'f) y dicho instante de inicio (t_0),
- comprendiendo además las etapas de:
- determinar una relación entre una amplitud de un semiperiodo anterior (E2'e) y una amplitud de dicho semiperiodo máximo (E2'f), en el que dicho semiperiodo anterior (E2'e) es el semiperiodo inmediatamente anterior a dicho semiperiodo máximo (E2'f) en uno de dichos conjuntos primero y segundo;
 - comparar dicha relación con un valor umbral; y
 - determinar el número de semiperiodos que se producen entre dicho semiperiodo máximo (E2'f) y el instante de inicio (t_0) de la respuesta de señal (E2') basándose en dicha comparación, determinando de este modo dicha relación entre dicho semiperiodo máximo (E2'f) y dicho instante de inicio (t_0).
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además la etapa de:
- cuando dicha relación está por debajo de dicho valor umbral, interpretar que dicho semiperiodo máximo es el semiperiodo en dicho conjunto seleccionado que se produce inmediatamente después de dicho instante de inicio de la respuesta de señal.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende además la etapa de:
- cuando dicha relación es al menos igual a dicho valor umbral, interpretar que hay al menos un semiperiodo en dicho conjunto seleccionado que se produce entre dicho semiperiodo máximo y el instante de inicio de la respuesta de señal.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, que comprende además la etapa de:
- interpretar que solo hay un semiperiodo en dicho conjunto seleccionado que se produce entre dicho semiperiodo máximo y el instante de inicio de la respuesta de señal.
5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho conjunto seleccionado es dicho segundo conjunto de semiperiodos.
6. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho semiperiodo anterior pertenece a dicho conjunto seleccionado.
7. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el instante de cruce por cero es el instante de cruce por cero que se produce inmediatamente antes o inmediatamente después del semiperiodo máximo.
8. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho valor umbral se selecciona con el fin de distinguir las oscilaciones que pertenecen a la respuesta de señal (E2; E2') de las oscilaciones que son ruido (N1).
9. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos uno de entre el semiperiodo máximo y la relación entre las amplitudes se determina a partir de una representación no muestreada de dicha respuesta de señal.
10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el semiperiodo máximo (E2e; E2'f) se determina:
- detectando un conjunto de periodos de tiempo (T_1 - T_2 ; T'_1 - T'_3) durante el que la amplitud de la respuesta de señal (E2; E2') supera una amplitud umbral (204) y tiene una polaridad equivalente a la polaridad de los semiperiodos en el conjunto seleccionado

- interpretando el periodo de tiempo más largo (T_1 ; T_2) en dicho conjunto de periodos de tiempo como correspondiente a dicho semiperiodo máximo ($E2e$; $E2'f$).

5 11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10 cuando depende de la reivindicación 2, que comprende además las etapas de:

- interpretar el periodo de tiempo (T_1) que precede inmediatamente al periodo de tiempo más largo (T_2) en dicho conjunto de periodos de tiempo como correspondiente a dicho semiperiodo anterior ($E2'e$); y
 10 - determinar la relación entre la amplitud de dicho semiperiodo anterior ($E2'e$) y la amplitud de dicho semiperiodo máximo ($E2'f$) basándose en las duraciones de los periodos de tiempo asociados.

12. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el semiperiodo máximo se determina:

15 - proporcionando dicha respuesta de señal ($E2'$) a un circuito (702) que comprende un medio de almacenamiento de energía (C);
 - adquiriendo una señal de salida (V_{salida}) procedente de dicho circuito (C), en el que dicha señal de salida (V_{salida}) corresponde a una tensión a través de dicho medio de almacenamiento de energía (C);
 20 - muestreando la señal de salida adquirida (V_{salida});
 - seleccionando un conjunto de muestras (S_{N1a} , $S_{E2'e-i}$), en el que cada muestra (S_{N1a} , $S_{E2'e-i}$) en dicho conjunto de muestras se asocia con un semiperiodo diferente de los semiperiodos ($N1a$, $E2'e-i$) en el conjunto seleccionado de dichos conjuntos de semiperiodos primero y segundo; y
 - determinando el semiperiodo que está asociado con la muestra con la tensión más alta como dicho semiperiodo máximo ($E2e$; $E2'f$).

25 13. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la relación entre la amplitud de dicho semiperiodo anterior ($E2'e$) y la amplitud de dicho semiperiodo máximo ($E2'f$) se determina:

30 - proporcionando dicha respuesta de señal ($E2'$) a un circuito (702) que comprende un medio de almacenamiento de energía (C);
 - adquiriendo una señal de salida (V_{salida}) procedente de dicho circuito, en el que dicha señal de salida corresponde a una tensión a través de dicho medio de almacenamiento de energía (C);
 - muestreando la señal de salida adquirida (V_{salida});
 35 - seleccionando una muestra ($S_{E2'e}$) asociada con dicho semiperiodo anterior ($E2'e$) y una muestra ($S_{E2'f}$) asociada con dicho semiperiodo máximo ($E2'f$); y
 - determinando la relación entre la amplitud del semiperiodo anterior ($E2'e$) y la amplitud de dicho semiperiodo máximo ($E2'f$) como la relación entre la tensión de la muestra ($S_{E2'e}$) asociada con dicho semiperiodo anterior ($E2'e$) y la tensión de la muestra ($S_{E2'f}$) asociada con la amplitud de dicho semiperiodo máximo ($E2'f$).

40 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en el que una ocasión cuando se detecta la muestra se determina: determinando un instante de cruce por cero que se produce al final del semiperiodo; y seleccionando una muestra que se produce un tiempo predeterminado después del instante de cruce por cero identificado.

45 15. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una señal de disparo ($E1$) usada para generar la respuesta de señal ($E2$; $E2'$) está configurada de tal manera que, para una respuesta de señal ideal ($E2$), el primer semiperiodo ($E2e$) en el segundo conjunto de semiperiodos ($E2e-h$) es el semiperiodo con la amplitud más alta.

50 16. Un software para la ejecución en un dispositivo de procesamiento que tiene unas instrucciones de programa para la implementación del método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

17. Un dispositivo para la medición acústica que comprende:

55 - un medio transductor (104) para transmitir y recibir una respuesta de señal; y
 - un dispositivo de control (120) dispuesto para realizar el método de una de las reivindicaciones 1-8 para determinar el instante de inicio de la respuesta de señal recibida ($E2$; $E2'$).

18. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 17, en el que el dispositivo de control comprende:

60 un amplificador, dispuesto para amplificar la respuesta de señal, y
 un comparador, dispuesto para recibir la respuesta de señal amplificada y para detectar cuándo la respuesta de señal amplificada supera un umbral.

19. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 17, en el que el dispositivo de control comprende:

- 5 un circuito (702) que incluye un medio de almacenamiento de energía (C), estando dicho circuito conectado para recibir la respuesta de señal,
un conversor A/D (704) para muestrear una tensión de salida a través del medio de almacenamiento de energía (C), y
una memoria (128) para almacenar las muestras procedentes del conversor A/D.

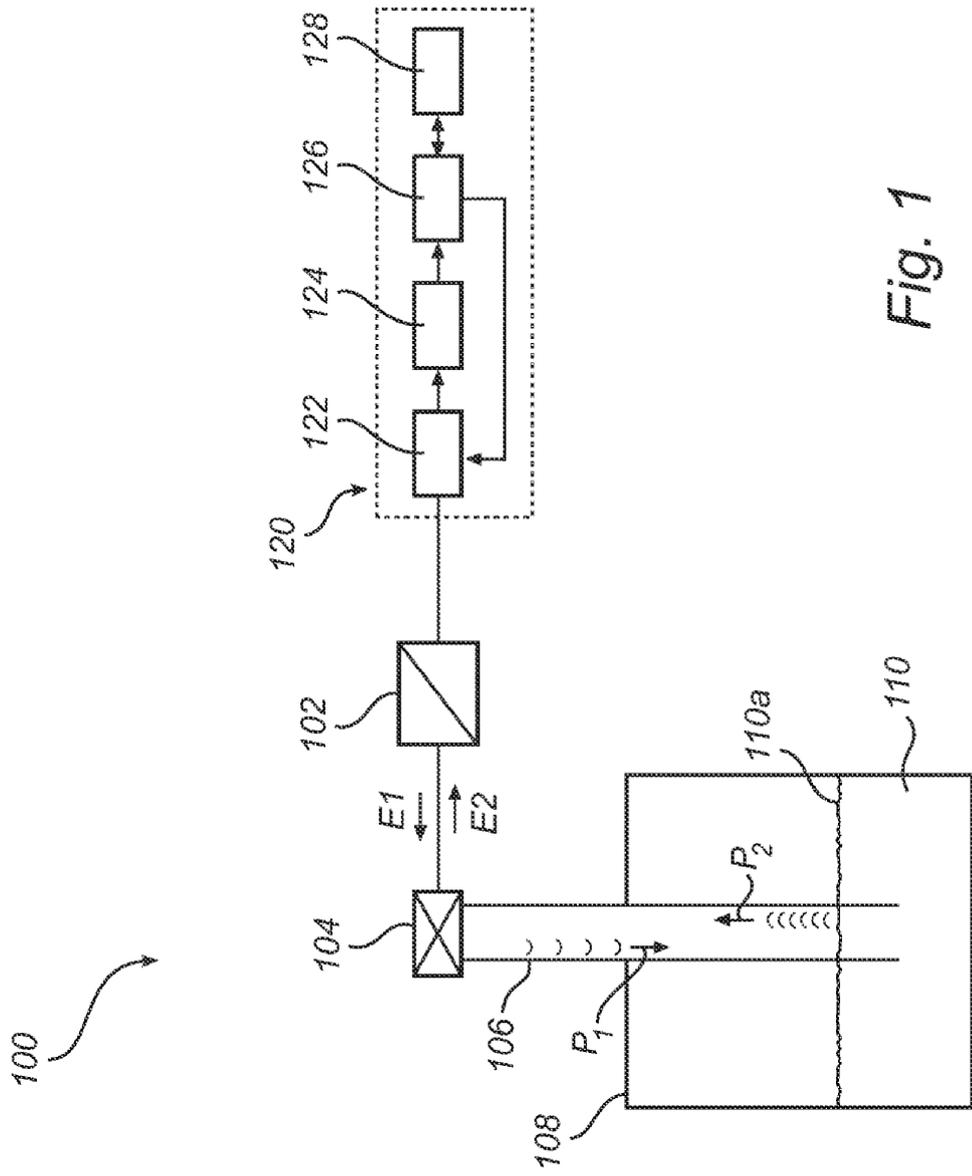
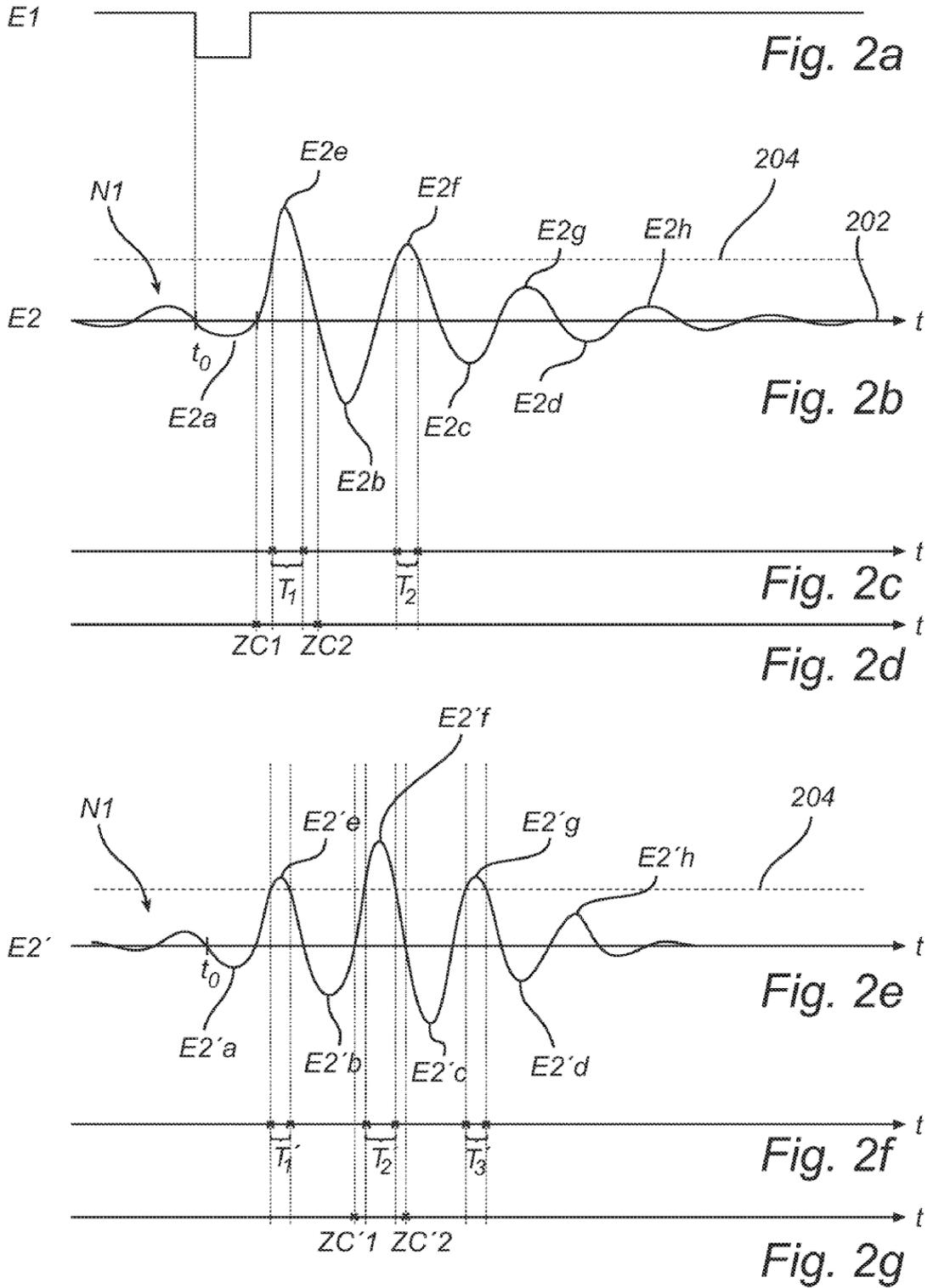


Fig. 1



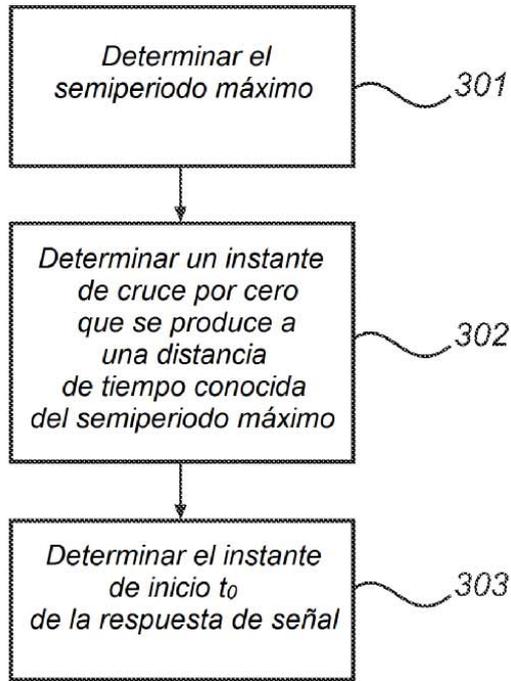


Fig. 3

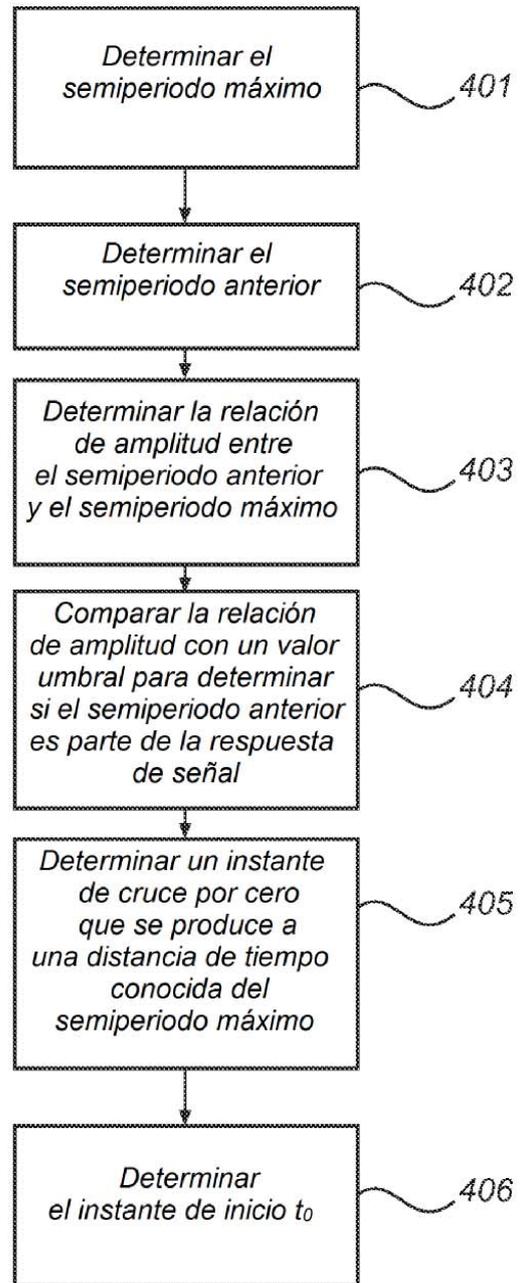


Fig. 4

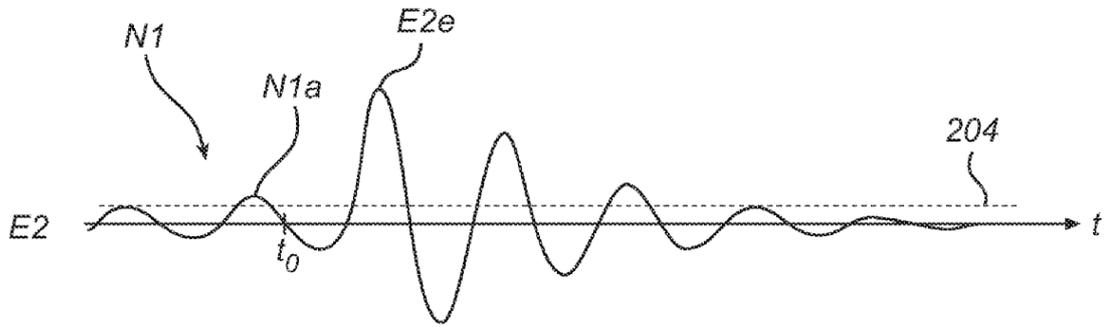


Fig. 5

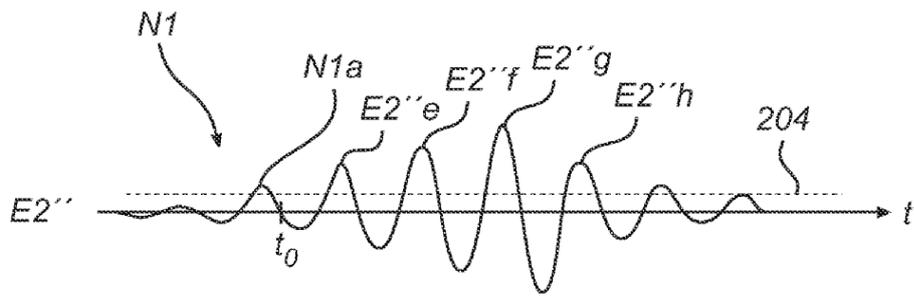


Fig. 6

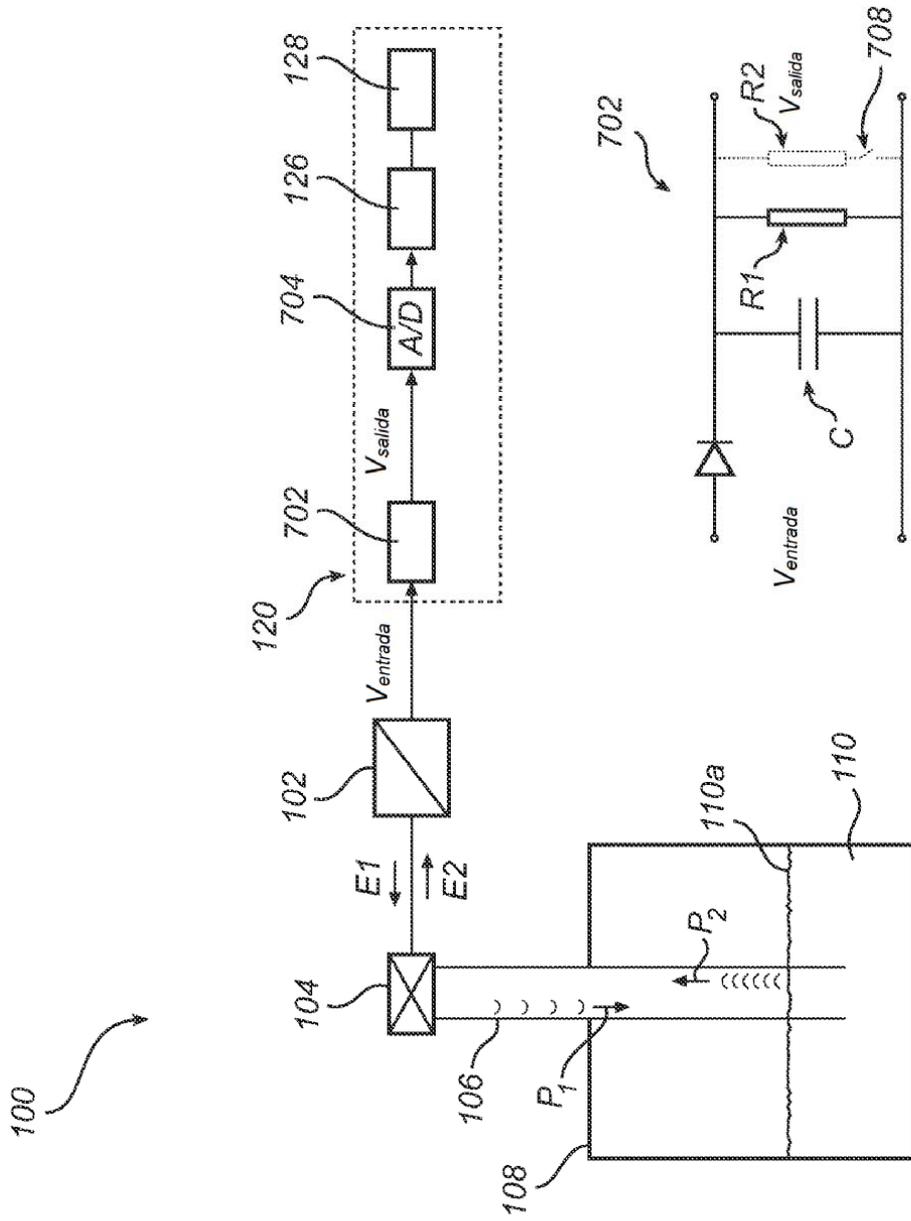


Fig. 7a

Fig. 7b

