



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 281 553**

⑤1 Int. Cl.:

G01F 1/66 (2006.01)

G01P 5/00 (2006.01)

①2

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧6 Número de solicitud europea: **02783833 .3**

⑧6 Fecha de presentación : **25.11.2002**

⑧7 Número de publicación de la solicitud: **1565708**

⑧7 Fecha de publicación de la solicitud: **24.08.2005**

⑤4

Título: **Método de procesamiento de señal ultrasónica, y sus aplicaciones.**

⑦3

Titular/es: **Elster-Instromet Ultrasonics B.V.**
Pieter Zeemanweg 61
3316 GZ Dordrecht, NL

④5

Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.10.2007

⑦2

Inventor/es: **Botter, Eduard, Johannes**

④5

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.10.2007

⑦4

Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 281 553 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 de procesamiento de señal ultrasónica, y sus aplicaciones.

La invención se refiere a un método de procesamiento de señal ultrasónica, en concreto para dispositivos de medida ultrasónicos, tales como caudalímetros. Más en concreto, se revela una técnica de procesamiento de señal para mejorar la relación señal frente a ruido, en dispositivos de medida ultrasónicos que funcionan en un entorno ruidoso, por ejemplo caudalímetros ultrasónicos en las proximidades de una válvula reductora de presión.

Los caudalímetros ultrasónicos de gas, miden el flujo de gas mediante señales ultrasónicas. Con este objeto, un caudalímetro ultrasónico de gas tiene uno o más trayectos acústicos, estando cada trayecto definido entre un par de transductores ultrasónicos. Cada transductor de tal par, es capaz de transmitir señales al otro transductor, y recibirlas desde este. Cuando están en funcionamiento, ambos transductores a su vez transmiten y reciben, lo que tiene como resultado una señal acústica que viaja a lo largo del trayecto acústico - bien en paralelo, o a cierto ángulo - dentro del cuerpo del medidor, con el sentido del flujo (corriente abajo) y en sentido contrario al flujo (corriente arriba). La diferencia en el tiempo de propagación para ambos sentidos de transmisión, es proporcionar a la velocidad del gas. Para medir con precisión incluso velocidades de gas pequeñas, los propios tiempos de propagación o la diferencia en el tiempo de propagación, necesitan ser medidos con muy elevada precisión y resolución en el tiempo.

Típicamente, los caudalímetros ultrasónicos de gas funcionan utilizando una serie de ráfagas cortas de señales de alta frecuencia (por ejemplo de 5 ciclos de longitud). Típicamente, la frecuencia operativa de los transductores ultrasónicos está en el rango entre 50 kHz y 500 kHz. Puesto que en los caudalímetros ultrasónicos de gas debe medirse con extremada precisión las diferencias en los tiempos de propagación, una definición o resolución muy elevadas en la medida del tiempo de propagación es una necesidad. Esto no puede conseguirse utilizando la envolvente de la señal de ráfagas recibida, incluso si es corta. Para obtener la resolución suficiente, se requiere el momento exacto de los cruces por cero en una señal de ráfagas. Puesto que típicamente se presenta múltiples cruces por cero en la señal de ráfagas, esto crea el problema de identificar y localizar uno o más cruces por cero específicos, para utilizarlos como puntos de referencia para la medida del tiempo de propagación. Esto puede solucionarse con la ayuda del perfil de la envolvente de la señal de ráfagas.

En un conducto de gas, puede emitirse ruido ultrasónico desde varias fuentes distintas. El espectro de frecuencia de tal ruido puede extenderse al rango de frecuencia en el que funcionan los transductores ultrasónicos. Tal ruido puede ser ruido inducido por el flujo, o ruido inducido por el equipamiento, tal como un ruido emitido por las válvulas reductoras de presión. El último tipo de ruido de interferencia es más severo, especialmente cuando tales válvulas reductoras de ruido funcionan a diferenciales de presión elevados, por ejemplo por encima de 10 o 20 barías. Bajo estas circunstancias, la cantidad de energía disipada puede ser muy sustancial. Incluso si solo una fracción muy pequeña de esta se convierte en energía acústica, se

seguirá emitiendo una importante cantidad de ruido.

El ruido procedente de tales válvulas puede caracterizarse por tener algunos máximos dominantes a frecuencias discretas (bajas), pero se describe más apropiadamente como un ruido de banda ancha. La envolvente del espectro de frecuencia tiene típicamente un máximo en el rango entre 30 kHz y 80 kHz. Esto indica que, incluso fuera de este rango de frecuencia, puede presentarse cantidades sustanciales de energía ultrasónica.

Lo mismo aplica para válvulas que han sido diseñadas como "válvulas silenciosas", según se las denomina. La palabra "silenciosa" aplica típicamente al ruido en el rango audible. En algunas ocasiones se consigue la reducción de ruido en el rango audible, mediante modificaciones de diseño que desplazan la emisión de ruido a frecuencias más altas. Puesto que este ruido es de banda ancha por naturaleza, se extiende fácilmente al rango de frecuencia en el que pueden funcionar los transductores ultrasónicos para caudalímetros ultrasónicos de gas.

Debido a limitaciones prácticas, la potencia de la señal utilizada en un caudalímetro ultrasónico está limitada a ciertos niveles. Surge el problema de que, o bien el ruido interfiere con las señales ultrasónicas del caudalímetro, o bien las señales ultrasónicas del caudalímetro pueden quedar completamente rebasadas o enmascaradas por tal ruido. Como resultado de esto, las señales ultrasónicas utilizadas por el caudalímetro pueden hacerse indetectables, y por lo tanto el medidor puede quedar no operativo.

Hasta la fecha, se ha realizado intentos de varias formas para resolver el problema del ruido acústico que interfiere con las señales de un caudalímetro ultrasónico.

Se ha realizado intentos para resolver el problema del ruido acústico que interfiere con las señales de un caudalímetro ultrasónico, mediante separar espacialmente el caudalímetro ultrasónico y la fuente de ruido. Esto supone separar las dos partes mediante aplicar un tramo largo de tubo, preferentemente incluyendo también recodos y ángulos en T, entre el medidor y la fuente de ruido. Puesto que el espacio disponible no siempre permite un enfoque semejante, este método puede ser no solo costoso, sino frecuentemente también impracticable.

También se ha intentado mover la frecuencia operativa del caudalímetro, alejándola del rango de frecuencias del ruido ultrasónico. Debido al incremento de la atenuación de la señal ultrasónica en el fluido, para frecuencias crecientes, el rango de frecuencias utilizables para aplicaciones prácticas se limita a un máximo de unos 300 a 500 kHz. Esto supone un límite sobre la ganancia que puede conseguirse de este modo.

Se ha diseñado dispositivos silenciadores especiales, para separar la fuente de ruido y el caudalímetro ultrasónico entre sí. La eficacia de tales dispositivos es limitada, puesto que estos dispositivos pueden por sí mismos generar ruido (ruido inducido por el flujo) a velocidades de gas superiores, y de nuevo pueden involucrar considerables costes.

También se ha realizado intentos de aplicar una variedad de técnicas de procesamiento de señal, para mejorar la relación señal frente a ruido, descritos como filtrado, promedio, superposición y correlación.

Aplicar técnicas de filtrado en el dominio de frecuencias, no proporciona mucho avance, puesto que

el espectro de frecuencia del ruido a menudo solapa con la frecuencia operativa del caudalímetro ultrasónico. Además, típicamente los transductores ultrasónicos funcionan en un modo resonante, para conseguir la máxima eficiencia, y por consiguiente los propios transductores actúan como dispositivos selectivos de frecuencia. Por lo tanto, no será eficaz utilizar conjuntos de circuitos o soporte lógico electrónico, adicionales, para filtrar la señal en el dominio de frecuencias.

Puede conseguirse mejoras en la relación señal frente a ruido, mediante incrementar la cantidad de energía ultrasónica, extendiendo para ello la duración de la señal de ráfagas. Esto acusa al problema de que se hace más difícil identificar unívocamente, y localizar, un cruce por cero concreto con la ayuda de la forma de la envolvente, o acusa ambigüedad cuando se utiliza técnicas de detección de fase, puesto que el tiempo de propagación que debe medirse representa múltiples períodos de la señal, y el desplazamiento de fase es de múltiples veces 2π .

Otro método conocido para mejorar la relación señal frente a ruido, se conoce como superposición. Este supone promediar la señal que se obtiene, mediante enviar y recibir repetidamente una señal ultrasónica. Se asume que las señales de ráfagas recibidas están correlacionadas, de forma que la adición de múltiples señales de ráfagas recibidas tiene como resultado una señal incrementada, mientras que el ruido no está correlacionado y por lo tanto se reducirá, cuando se sume múltiples señales recibidas. Las señales recibidas son añadidas tomando el momento de emisión como punto de referencia, para temporizar las señales de ráfagas recibidas mientras que estas están siendo añadidas.

Este método también tiene limitaciones, debido a la turbulencia natural del flujo de gas. La turbulencia tiene como resultado una variabilidad del tiempo de propagación (también conocida como "fluctuación") como resultado de la cual las señales de ráfagas recibidas dejan de estar correlacionadas. Esto significa que utilizando el momento de emisión como punto de referencia, las señales recibidas no coinciden exactamente cuando son sumadas. La técnica de promedio o superposición es, por lo tanto, eficaz solo en una corta escala de tiempo: una escala de tiempo lo suficientemente corta en comparación con la periodicidad del fenómeno de turbulencia, para limitar las variaciones en el tiempo de propagación, a valores sustancialmente menores que un periodo de la frecuencia de la señal de ráfagas. Esto limita el número de señales de ráfagas recibidas que pueden ser sumadas eficazmente, para incrementar la relación de señal frente a ruido.

En la descripción del método anterior se ha asumido que cada ciclo, de emisión de una señal de ráfagas ultrasónicas y recepción de la misma señal, se completa antes de que se inicie el siguiente. Por lo tanto, solo puede comenzar un nuevo ciclo después de que la señal acústica ha viajado a través del fluido, a lo largo de su trayecto acústico, lo que puede llevar varios milisegundos, especialmente para un medidor de gran tamaño que tiene largos trayectos acústicos. Esto limita el número de impulsos, al número que puede ser enviado dentro de un intervalo de tiempo específico, es decir el tiempo en que puede considerarse que las señales acústicas recibidas están correlacionadas.

Como alternativa a este método, el proceso de enviar y recibir impulsos acústicos podría estar interca-

lado o solapado, lo que significa que se está disparando los impulsos acústicos (señales de ráfagas), mientras que impulsos acústicos previos siguen aún viajando a través del gas. Como resultado de esto, llegará al receptor una secuencia de impulsos acústicos. Sin embargo, el problema con este método alternativo es identificar cada uno de los impulsos entre una secuencia, cuando llegan, puesto que pueden estar considerablemente distorsionados por el ruido acústico, o incluso sepultados o enmascarados por el ruido acústico. Promediar las señales de ráfagas individuales dentro de una secuencia, utilizando la tasa de repetición de disparo de los impulsos, conocida, ayudará a recuperar impulso de entre el ruido, y a hacer los impulsos detectables, pero el resultado es ambiguo. Esto significa que la señal de impulsos puede ser recibida en diversos puntos temporales, no siendo capaz de detectarse cual de estos representa realmente el tiempo de propagación.

Las técnicas de correlación son herramientas de procesamiento de señal, de uso general, que pueden aplicarse una variedad de medidas electrónicas. Los usos principales son la detección de la presencia y la localización, de señales sepultadas en el ruido. Generalmente se conoce la forma de onda de la señal, por ejemplo la señal transmitida por un transductor ultrasónico. El proceso de correlación desliza incrementalmente la forma de onda de referencia sobre la señal que está siendo procesada, buscando una señal coincidente. Las señales que no están relacionadas con la forma de onda de referencia, tienen un valor de correlación resultante de 0. Si se encuentra una señal coincidente, el valor de correlación se incrementa hasta un valor máximo de 1 para una coincidencia perfecta, y -1 para una forma de onda coincidente pero invertida. El valor máximo de la función de correlación sirve para ambos propósitos. Si el valor máximo es próximo 1 la señal deseada está presente, y la localización del máximo es una medida del retardo de propagación (o tiempo del propagación).

La aplicación de la función de correlación, a la medida del tiempo de propagación en un medidor ultrasónico, acusa diversos inconvenientes. Es intensiva desde el punto de vista computacional (es decir, necesita una gran cantidad de potencia de procesamiento) y, considerando la muy elevada resolución temporal que se requiere para la medida del tiempo de propagación, requiere frecuencias de muestreo muy elevadas.

El documento US-A-5 818 734 revela un método de procesamiento de señal de un caudalímetro ultrasónico.

A la vista de los inconvenientes del arte previo indicados arriba, es un objetivo de la invención proporcionar una técnica de procesamiento de señal ultrasónica, que mejore la relación señal frente a ruido, en concreto bajo circunstancias ruidosas.

Un objetivo más de la invención, es proporcionar una técnica de procesamiento de señal ultrasónica, que permita una identificación inequívoca de una sola señal de ráfagas ultrasónicas, dentro de una señal recibida que representa una serie de señales subsiguientes de ráfagas transmitidas.

Otro objetivo de la invención es proporcionar una medida precisa del tiempo de propagación de una señal ultrasónica.

Otro objetivo más, es proporcionar un método de determinación precisa de una característica del flujo de un fluido, tal como un gas o un líquido, por ejem-

plo la velocidad del flujo, utilizando una técnica de medida ultrasónica.

Un objetivo más de la invención, es proporcionar un dispositivo capaz de llevar a cabo tales métodos o medidas.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, relativo a un método de procesamiento de señal para mejorar la relación de señal frente a ruido en medidas ultrasónicas, el método comprende la transmisión de una secuencia de tiempo predefinida, de una serie de señales de ráfagas ultrasónicas de un primer transductor, donde los períodos de tiempo entre señales de ráfagas transmitidas ulteriormente, de la mencionada secuencia, se configuran de acuerdo con un esquema no uniforme, donde al menos un período de tiempo difiere respecto de otro período de tiempo, y comprende la recepción de una señal que representa la mencionada secuencia transmitida de señales de ráfagas ultrasónicas, en un segundo transductor, comprende la adición de múltiples copias de la señal recibida desplazadas en el tiempo, con la señal original recibida, para obtener una suma de la señal original recibida y sus copias desplazadas en el tiempo, donde el desplazamiento temporal de una copia está relacionado con un patrón predefinido, y comprende la reconstrucción de una señal de ráfagas original, que tiene una relación mejorada de señal frente a ruido, a partir de la mencionada suma.

El método de procesamiento de señal acorde con la invención, comprende transmitir una secuencia de señales de ráfagas cortas, en un intervalo de tiempo relativamente corto. En esta secuencia, una siguiente ráfaga puede ser transmitida antes de que la ráfaga precedente haya llegado al transductor receptor. Como resultado, el intervalo de tiempo en que es emitida la secuencia total de señales de ráfaga, puede solapar con el intervalo de tiempo en que es recibida la secuencia de señales de ráfaga, en el transductor receptor. De acuerdo con la invención, las señales de ráfaga ultrasónicas son transmitidas en correspondencia con un patrón uniforme. Esto significa que el período de tiempo entre señales de ráfaga ultrasónicas transmitidas consecutivamente, no es constante. El lugar de esto, al menos un período de tiempo es diferente respecto de los otros períodos de tiempo.

Mientras que un transductor, de un par de transductores que definen un trayecto acústico, emite una secuencia de señales de ráfaga, una señal que representa la secuencia de señales de ráfaga recibidas en el otro transductor, es digitalizada y almacenada en la memoria, para su subsiguiente procesamiento. La señal almacenada contiene las series completas de señales de ráfaga enviadas, aunque a primera vista las señales de ráfaga individuales procedentes de la secuencia transmitida, pueden no ser reconocibles debido al ruido presente.

El método de procesamiento de señal involucra crear múltiples copias desplazadas en el tiempo, de la señal recibida, que representan la secuencia transmitida de señales de ráfagas. Los desplazamientos temporales entre las copias de la señal recibida, están relacionados con el patrón uniforme, de forma que puede reconstruirse inequívocamente una o más ráfagas de señal (pero preferentemente una) que tienen una relación mejorada de señal frente a ruido. Como resultado de la adición, en la suma resultante se consigue una señal aumentada reconstruida, que representa una ráfaga de señal procedente de la secuencia transmi-

da originalmente, mientras que la parte restante de la señal recibida originalmente, que representa el ruido y las otras señales de ráfaga procedentes de la secuencia transmitida inicialmente, es atenuada o cancelada. Así, puede medirse el tiempo preciso de propagación de esta señal reconstruida, y utilizarse por ejemplo para el cálculo de la distancia recorrida, o de una característica del flujo.

En una realización preferida, son diferentes todos los períodos temporales entre señales de la mencionada secuencia transmitidas consecutivamente. En esta realización, ninguno de los períodos temporales es igual, sino que se configuran teniendo valores diferentes. Por ejemplo, los períodos de tiempo aumentan incrementalmente con respecto al período temporal previo. Esto permite la reconstrucción de una sola señal de ráfaga a partir de la señal total recibida.

En otra realización preferida, el número de copias es igual al número de señales de ráfaga en la secuencia, menos uno, de forma que el número de factores a ser añadido, es decir la señal recibida originalmente y sus copias, es igual al número total de señales de ráfaga en la secuencia transmitida.

Más preferentemente los desplazamientos temporales son proporcionales, idénticos en el caso más preferente, a los mencionados períodos de tiempo. Esto significa que se selecciona el patrón no uniforme de modo que, en cada copia de la señal recibida desplazada en el tiempo, solo una señal de ráfaga de entre la secuencia completa, coincide con una específica de entre la señal recibida originalmente. Añadir las copias de la secuencia desplazadas en el tiempo, tiene como resultado la reducción o incluso la cancelación del ruido, mientras que la señal de ráfaga que coincide incrementa su amplitud cada vez. De este modo mejora la relación de señal frente a ruido, y se reconstruye la única señal de ráfaga original, sin ambigüedad.

Es ventajoso reconstruir la forma de una señal de ráfaga original, puesto que esto permite definir al menos un cruce por cero específico como referencia, que puede utilizarse por ejemplo para determinar el tiempo de propagación de la señal acústica.

El método de procesamiento de señal acorde con la invención, tiene alguna similitud con el método de "promedio" o "superposición" discutido arriba. Sin embargo, en el método acorde con la invención la secuencia transmitida de señales de ráfaga contiene información de temporización específica, que permite reconstruir una muestra específica a partir de la secuencia. El método tiene además cierta similitud con técnicas de correlación, puesto que la señal recibida es reconstruida utilizando la señal original transmitida. Sin embargo en las técnicas de correlación, una función de correlación es una función de dos variables, y no se necesita que el resultado tenga ninguna similitud con la señal de ráfaga original, mientras que en esta invención las múltiples copias desplazadas en el tiempo son utilizadas para reconstruir la forma de la señal original. Después, la señal reconstruida puede ser utilizada para identificar un cruce por cero concreto, como punto de referencia para medir el tiempo de propagación de la señal acústica, por ejemplo en un caudalímetro ultrasónico, para determinar una característica de flujo de un fluido, tal como un gas, en un conducto.

Además de en caudalímetros, el método de procesamiento de señal ultrasónica acorde con la invención, puede también ser utilizado en dispositivos ultrasóni-

cos de medida de distancias. En un sistema ultrasónico de medida de distancias, el tiempo de propagación de la secuencia de señales de ráfaga lanzadas en una dirección, mediante un primer transductor, y recibidas a continuación mediante el mismo u otro transductor, es suficiente para determinar la distancia de la medida.

De acuerdo con un segundo aspecto, la invención se refiere a un método para determinar una característica de flujo, de un fluido en un conducto, utilizando un dispositivo de medida ultrasónico, que comprende transmitir una secuencia temporizada predefinida de una serie de señales de ráfaga ultrasónicas, en un primer transductor, de forma que los períodos de tiempo entre señales de ráfaga transmitidas consecutivamente, de la mencionada secuencia, se configuran de acuerdo con un patrón uniforme, y comprende recibir una señal que representa la mencionada secuencia de señales de ráfaga en un segundo transductor, añadiendo múltiples copias desplazadas en el tiempo de la señal recibida, para obtener una suma de la señal original recibida y sus copias desplazadas en el tiempo, donde los desplazamientos temporales están relacionados con el mencionado patrón predefinido, comprende reconstruir una señal de ráfaga original, determinar el tiempo de propagación de la mencionada señal de ráfaga original reconstruida, y calcular la característica de flujo utilizando el mencionado tiempo de propagación. Puesto que en este método acorde con la invención, se aplican los principios del método de procesamiento de señal ultrasónica discutidos arriba, la señal de ráfaga original puede ser reconstruida de forma precisa e inequívoca, con el resultado de que puede calcularse con precisión el tiempo de propagación, así como las características de flujo relacionadas con este tiempo de propagación. Ejemplos de tal característica de flujo son la velocidad de flujo y el caudal del flujo, el contenido de energía de un gas combustible de tal como gas natural, etcétera.

Las realizaciones preferidas identificadas arriba, del método de procesamiento de señal acorde con la invención, son igualmente aplicables a este segundo aspecto de la invención.

Otro aspecto de la invención está dirigido a un dispositivo para determinar una característica de flujo de un fluido en un conducto, que comprende medios de transmisión ultrasónicos para proporcionar una secuencia temporizada predefinida, de una serie de señales de ráfaga ultrasónicas para su inyección en el fluido, medios de temporización para configurar el momento de transmisión de cada señal de ráfaga de la mencionada secuencia, de acuerdo con un patrón no uniforme predefinido, medios de recepción ultrasónica para recibir una señal que representa la mencionada secuencia de señales de ráfaga ultrasónicas, y medios de procesamiento de señal para procesar la mencionada señal, al efecto de determinar la característica de flujo a partir de la mencionada señal, donde el medio de procesamiento de señal comprende medios para proporcionar múltiples copias desplazadas en el tiempo, de la señal recibida, copias que están desplazadas en el tiempo de acuerdo con una relación predefinida según el mencionado patrón no uniforme, y para añadir las múltiples copias desplazadas en el tiempo de la señal recibida, a la señal recibida, y para reconstruir una señal de ráfaga original, y para calcular las características de flujo utilizando la menciona-

da señal de ráfaga original reconstruida.

En este dispositivo acorde con la invención, el medio de procesamiento de señal está diseñado de modo que se crea una serie de copias de la señal recibida, desplazadas en el tiempo. Estas copias son añadidas a la señal recibida originalmente. A partir de la suma, se obtiene una señal de ráfaga disparada originalmente desde la que, a su vez, se calcula la característica de flujo deseada. Por ejemplo, puede obtenerse la velocidad de flujo a partir de la diferencia en el tiempo de propagación, de una secuencia de señales de ráfaga transmitidas en el sentido del flujo (corriente abajo) y de una secuencia de señales de ráfaga transmitidas en el sentido opuesto (corriente arriba).

Preferentemente, los medios están diseñados de forma que los medios permiten llevar a cabo las realizaciones preferidas del método acorde con la invención, tal como se ha descrito arriba.

La invención se ilustra adicionalmente mediante los dibujos anexos, en los cuales:

la figura 1 muestra los elementos básicos de un caudalímetro ultrasónico de un solo trayecto;

la figura 2 es un diagrama de bloques de un caudalímetro ultrasónico, de acuerdo con la invención;

la figura 3 muestra las formas de onda transmitida y recibida, de un caudalímetro ultrasónico acorde con el arte previo;

la figura 4 muestra las formas de onda transmitida y recibida, de acuerdo con la invención; y

la figura 5 muestra las formas de onda procesadas de acuerdo con la invención.

La figura 1 muestra los elementos básicos de un ejemplo de sistema de medida de flujo, para determinar el flujo de fluido en un conducto cilíndrico 1. Cada uno de un par de transductores 2a, 2b, está conectado mediante conexiones eléctricas 4a y 4b respectivamente, a una unidad de procesamiento de señal identificada en su totalidad mediante el número de referencia 10. Los transductores 2a, 2b están posicionados de forma que definen un trayecto de interrogación 3, con dimensiones geométricas definidas con precisión. El trayecto de interrogación mostrado en la figura 1 es un trayecto con eje longitudinal de tipo rebote. Sin embargo, son posibles otras disposiciones de transductores y configuraciones de trayectos, por ejemplo un triángulo inscrito (que tiene dos rebotes contra la pared del conducto).

La figura 2 es un diagrama de bloques, de un caudalímetro ultrasónico acorde con la presente invención. Hay montado un par de transductores 2a, 2b en un conducto 1, definiendo un trayecto de interrogación 3. Los transductores 2a, 2b están conectados mediante conexiones eléctricas 4a, 4b, tanto a un generador de señal 5 como a un receptor de señal 11. El generador de señal 5 está controlado por una unidad de control y temporización (TCU) 21, mediante un bus de datos y control 22, para proporcionar una señal acústica al transductor o transductores 2a, 2b, en instantes temporales definidos. La propia señal transmitida se calcula mediante un procesador de señal digital (DSP) 23, y se carga en la RAM 7 del generador de señal, por medio del acceso de memoria directa (DMA) 6. Controlado por la TCU 21, el generador de señal 5 transfiere la señal de transmisión almacenada en la RAM 7, de forma secuencial, al convertidor de digital a analógico (DAC) 8. La salida del DAC 8 es amplificada mediante el amplificador de potencia 9. Un multiplexor de transmisión 10 proporciona a uno

o más transductores 2a, 2b, la señal ultrasónica a ser transmitida.

Los transductores 2a, 2b están además conectados al receptor de señal 11. El receptor de señal 11 consiste en circuitos intermedios/preamplificadores 12a, 12b y un multiplexor de recepción 13. De forma similar al generador de señal 5, el receptor de señal 11 está controlado por la TCU 21, para proporcionar las señales de transductor apropiadas a un amplificador de señal 14. El amplificador de señal 14 está controlado por un controlador automático de ganancia (AGC) 16. Después, la señal amplificada es digitalizada por el convertidor de señal 17. Controlado por la TCU 21, el convertidor analógico a digital (ADC) 18 escribe en la RAM 19 la señal muestreada. Los contenidos de la RAM 19 pueden ser accedidos mediante un acceso de memoria directa (DMA) 20. La unidad de procesamiento de señal digital DSP 23 procesa los datos muestreados de la RAM 19, de acuerdo con la invención. Puede ponerse datos a disposición del interfaz de usuario, en diversas etapas de procesamiento, mediante la unidad de entrada/salida 24.

La figura 3 muestra las formas de onda transmitida y recibida, de un caudalímetro ultrasónico convencional.

La figura 3a muestra un ejemplo de una forma de onda transmitida, de un transductor ultrasónico, con un centro de frecuencia de aproximadamente 200 kHz y un ancho de banda de aproximadamente 40 kHz. Se muestra la respuesta de impulso (eje Y) de un transductor 2a, 2b, en función del tiempo (eje X; segundos).

La figura 3b muestra la forma de onda de la figura 3a, pero con un "zum ampliado" de unos 10 ciclos (de la frecuencia del transductor de 200 kHz), tanto antes ($t < 0$) como después ($t > 0$) de disparar el transductor.

La figura 3c muestra la forma de onda recibida en una relación señal frente a ruido, moderada. El tiempo de propagación de la señal entre un par de transductores es de 1 milisegundo (ms).

La figura 3d muestra la forma de onda de la figura 3c, pero con un "zum ampliado" de unos 10 ciclos, de la frecuencia del transductor 200 kHz, tanto antes como después de el retardo de propagación. La forma de onda recibida muestra una buena conformidad con la forma de onda transmitida. Son aplicables diversos métodos para la detección de la presencia de esta forma de onda, y la estimación del retardo de propagación, incluyendo algunos muy simples como la fijación de umbrales en la señal.

La figura 3e muestra la forma de onda recibida, a una relación de señal frente a ruido muy baja. De nuevo el tiempo de propagación de la señal es 1 milisegundo (ms). Es evidente que la forma de onda de la señal transmitida originalmente, está completamente oscurecida por el ruido. Así, no es posible detectar la presencia y el retardo de propagación de la señal transmitida.

La figura 4 muestra las formas de onda transmitida y recibida, de acuerdo con la invención.

La figura 4a muestra la forma de onda de muestra, transmitida, que consiste en 8 ráfagas individuales que tienen formas de onda similares a la forma de onda transmitida de la figura 3a y de la figura 3b. En otras palabras, la secuencia consiste en 8 señales de ráfaga ultrasónicas. En este ejemplo de la invención, la separación de las formas de onda individuales no es uniforme, sino que se extiende en el tiempo, es decir todas las separaciones son diferentes.

La figura 4b representa la forma de onda figura 4a, pero de nuevo con un "zum ampliado", para mostrar con mayor detalle las señales de ráfaga ultrasónicas o trenes de onda individuales.

La figura 4c muestra la forma de onda recibida a una relación muy baja de señal frente a ruido (comparable a la relación de señal frente a ruido mostrada en la figura 3e). El retardo de propagación es de 1 milisegundo (ms). Muy similar a la situación descrita en la figura 3e donde, a la recepción de la señal, los trenes de onda individuales están oscurecidos por el ruido.

La figura 4d muestra la forma de onda de la figura 4c, pero con un "zum ampliado" hasta aproximadamente 10 ciclos (de la frecuencia de transductor de 200 kHz), tanto antes como después de el retardo de propagación.

La figura 5 muestra las formas de onda, procesadas de acuerdo con la invención.

En la figura 5a, el registro superior es idéntico a la forma de onda recibida, mostrada en la figura 4c. Los 7 registros por debajo del registro superior, son copias desplazadas en el tiempo, de la forma de onda recibida. Los desplazamientos temporales son idénticos a las separaciones de los trenes de onda individuales transmitidos (figuras 4a y 4b). El registro inferior es la suma de la forma de onda original recibida, y sus copias desplazadas en el tiempo.

La figura 5b muestra la misma forma de onda procesada, mostrada en el registro inferior de la figura 5a: la suma de la forma de onda original recibida y sus copias desplazadas en el tiempo. Esta forma de onda "recibida" procesada, tiene todas las características de la forma de onda recibida resultante de la transformación de un solo tren de ondas, pero una relación mejorada de señal frente a ruido.

La figura 5c muestra la forma de onda de la figura 5b, pero expandida hasta aproximadamente 10 ciclos (de la frecuencia de transductor de 200 kHz), tanto antes como después del retardo de propagación.

Es evidente que el método de procesamiento de señal acorde con la invención, tiene como resultado la reconstrucción de una señal de ráfaga a partir de las series transmitidas originalmente, la cual está enmascarada, tapada u oscurecida de otro modo, mediante el ruido y mediante otras señales de ráfaga transmitidas, de la serie. El tiempo de propagación de esta señal reconstruida, puede ser determinado con precisión.

REIVINDICACIONES

1. Un método de procesamiento de señal para mejorar la relación de señal frente a ruido en medidas ultrasónicas, estando el método **caracterizado** porque comprende la transmisión de una secuencia temporizada predefinida de una serie de señales de ráfaga ultrasónicas, en un primer transductor (2a), donde los períodos de tiempo entre las señales de ráfaga de la mencionada secuencia, transmitidas subsiguientemente, se fijan de acuerdo con un patrón no uniforme (5, 21), donde al menos uno de los períodos de tiempo difiere respecto de otro período de tiempo, y la recepción (2b, 11) de una señal que representa la mencionada secuencia transmitida de señales de ráfaga ultrasónicas, en un segundo transductor, la adición (23) de múltiples copias de la señal recibida desplazadas en el tiempo, a la señal original recibida, para obtener una suma de la señal original recibida y sus copias desplazadas en el tiempo, en la que el desplazamiento temporal de una copia está relacionado con el mencionado patrón predefinido, y la reconstrucción de una señal de ráfaga original que tiene una relación mejorada de señal frente a ruido, a partir de la mencionada suma.

2. Un método de procesamiento de señal acorde con la reivindicación 1, **caracterizado** porque son diferentes todos los períodos de tiempo entre señales de la mencionada secuencia, transmitidas subsiguientemente.

3. Un método de procesamiento de señal acorde con la reivindicación 1 o la 2, **caracterizado** porque el número de copias es igual al número de señales de ráfaga en la mencionada secuencia, menos uno.

4. Un método de procesamiento de señal acorde con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque los desplazamientos temporales son proporcionales a los mencionados períodos de tiempo.

5. Un método de procesamiento de señal acorde con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque se reconstruye una única señal de ráfaga.

6. Un método de procesamiento de señal acorde con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque se reconstruye la forma de una señal de ráfaga original.

7. Un método de procesamiento de señal acorde con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** porque se determina el tiempo de propagación de la señal de ráfaga original reconstruida.

8. Un método de determinación de una característica de flujo, de un fluido en un conducto, utilizando un dispositivo ultrasónico de medida, estando el método **caracterizado** porque comprende transmitir una secuencia temporizada predefinida de una serie de señales de ráfaga ultrasónicas, en un primer transductor (2a), de forma que los períodos de tiempo entre señales de ráfaga de la mencionada secuencia, transmitidas subsiguientemente, se fijan de acuerdo con un patrón no uniforme (5, 21), y recibir una señal que representa la mencionada secuencia de señales de ráfaga, en un segundo transductor (2b, 11), añadir (23)

múltiples copias de la señal recibida, desplazadas en el tiempo, para obtener una suma de la señal original recibida y sus copias desplazadas en el tiempo, donde los desplazamientos temporales están relacionados con el mencionado patrón predefinido, reconstruir una señal de ráfaga original, determinar el tiempo de propagación de la mencionada señal de ráfaga original reconstruida, y calcular la característica de flujo utilizando el mencionado tiempo de propagación.

9. Un método acorde con la reivindicación 8, **caracterizado** porque son diferentes todos los períodos de tiempo entre las señales de la mencionada, secuencia subsiguientemente transmitidas.

10. Un método acorde con la reivindicación 8 o la 9, **caracterizado** porque el número de copias es igual al número de señales de ráfaga en la mencionada secuencia, menos uno.

11. Un método acorde con una de las reivindicaciones precedentes 8-10, **caracterizado** porque los desplazamientos de tiempo son proporcionales a los mencionados períodos de tiempo.

12. Un método acorde con una de las reivindicaciones precedentes 8-11, **caracterizado** porque se reconstruye una única señal de ráfaga.

13. Un método acorde con una de las reivindicaciones precedentes 8-12, **caracterizado** porque se reconstruye la forma de una señal de ráfaga original.

14. Un método acorde con una de las reivindicaciones precedentes 8-13, **caracterizado** porque se define un cruce por cero, a partir de la mencionada señal de ráfaga reconstruida, como referencia para determinar el tiempo de propagación de la mencionada señal de ráfaga reconstruida.

15. Un método acorde con una de las reivindicaciones precedentes 8-14, **caracterizado** porque se determina la velocidad de flujo del fluido.

16. Dispositivo (2a, 2b, 100) para determinar una característica de flujo, de un fluido en un conducto (1), estando el dispositivo **caracterizado** porque comprende medios de transmisión ultrasónicos (2a) al efecto de proporcionar una secuencia temporizada predefinida de una serie de señales de ráfaga ultrasónicas, para su inyección en el fluido, medios de temporización (21) para configurar el momento de transmisión de cada señal de ráfaga de cada secuencia, de acuerdo con un patrón no uniforme predefinido, medios de recepción ultrasónica (2b) para recibir una señal, que representa la mencionada secuencia de señales de ráfaga ultrasónicas, y medios de procesamiento de señal (23) para procesar la mencionada señal, al efecto de determinar la característica de flujo a partir de la mencionada señal, donde el medio de procesamiento de señal comprende medios para proporcionar múltiples copias de la señal recibida, desplazadas en el tiempo, copias que están desplazadas en el tiempo de acuerdo con una relación predefinida por el mencionado patrón no uniforme, y para añadir las múltiples copias de la señal recibida, desplazadas en el tiempo, a la señal recibida, y para reconstruir una señal de ráfaga original, y para calcular la característica de flujo utilizando la mencionada señal de ráfaga original reconstruida.

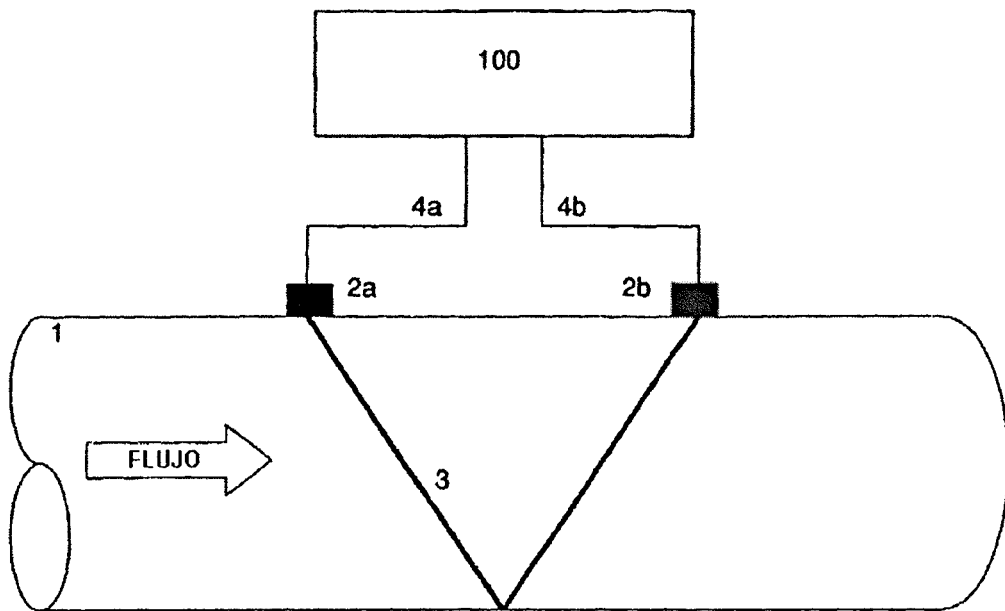


FIG. 1

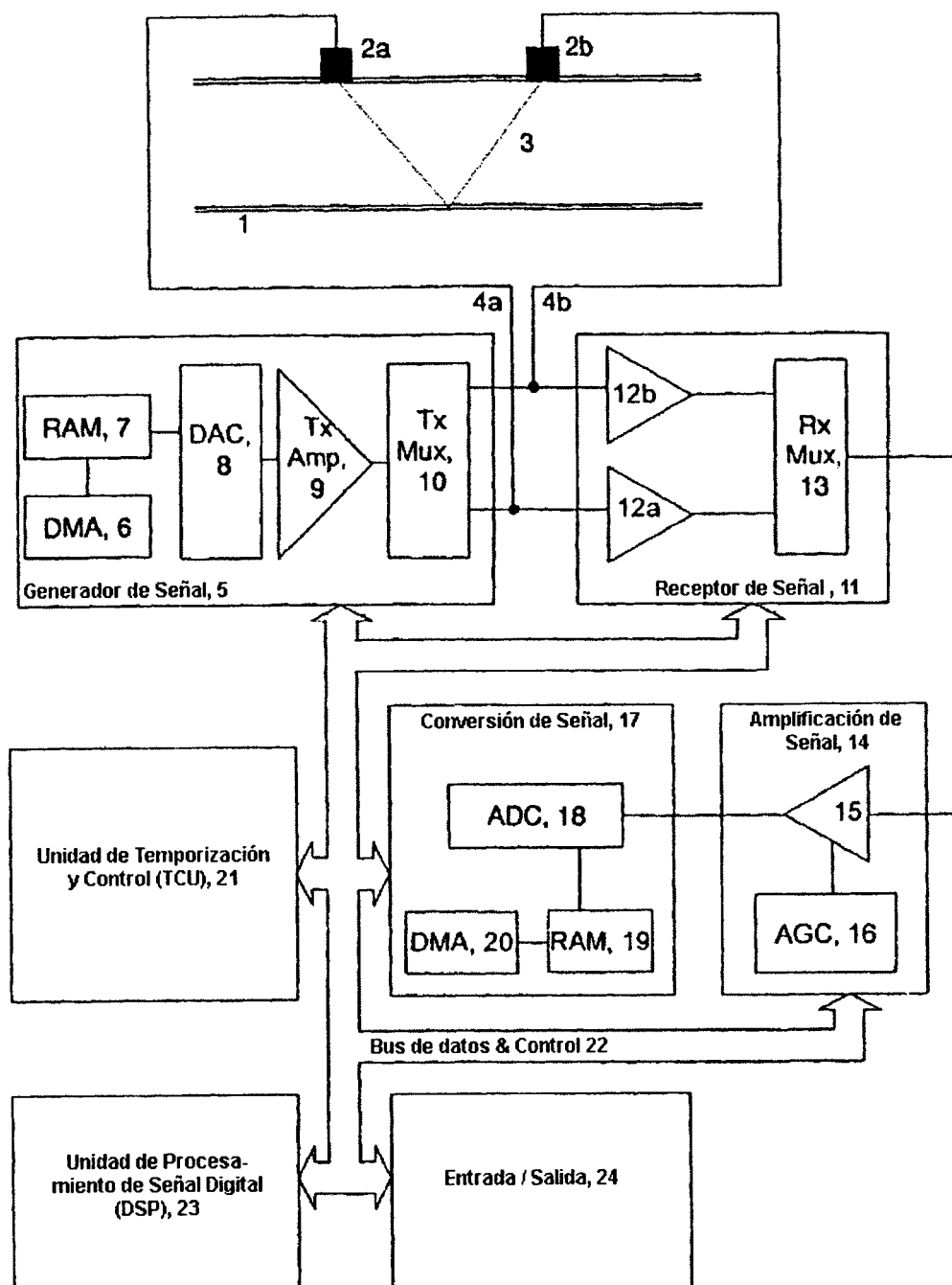


FIG. 2

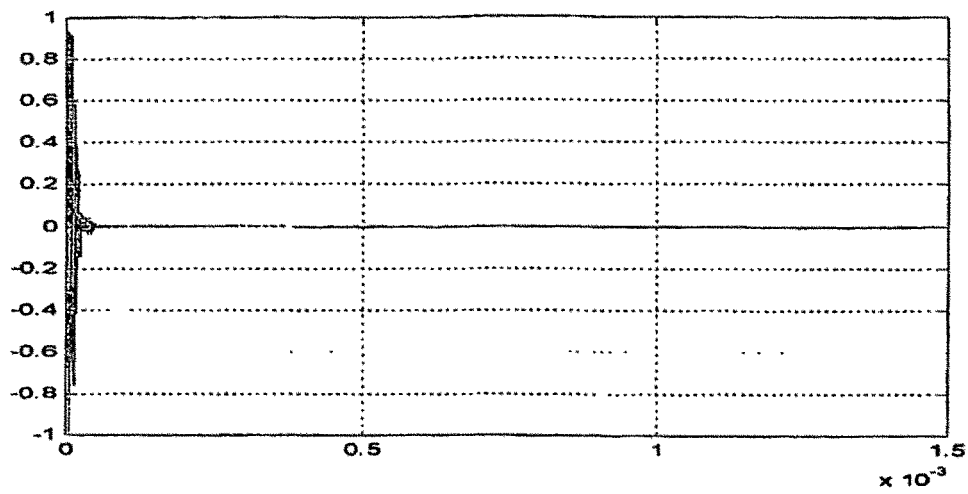


FIG. 3a

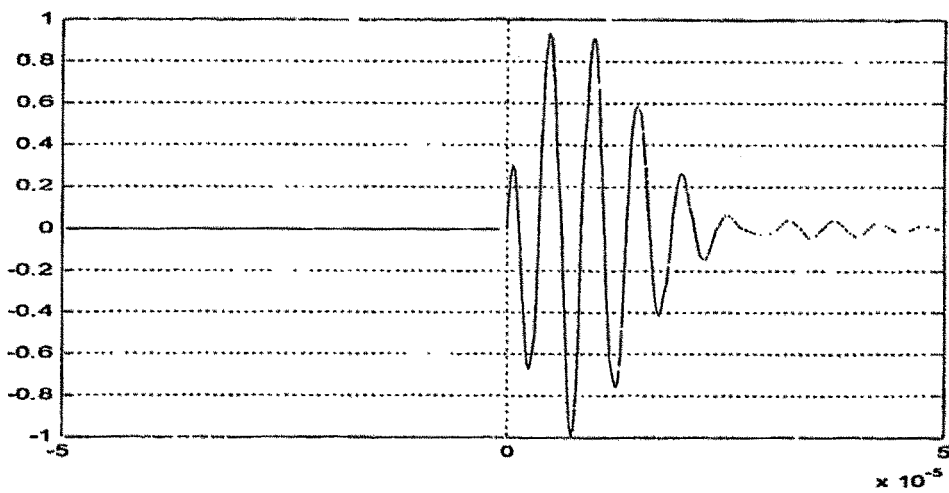


FIG. 3b

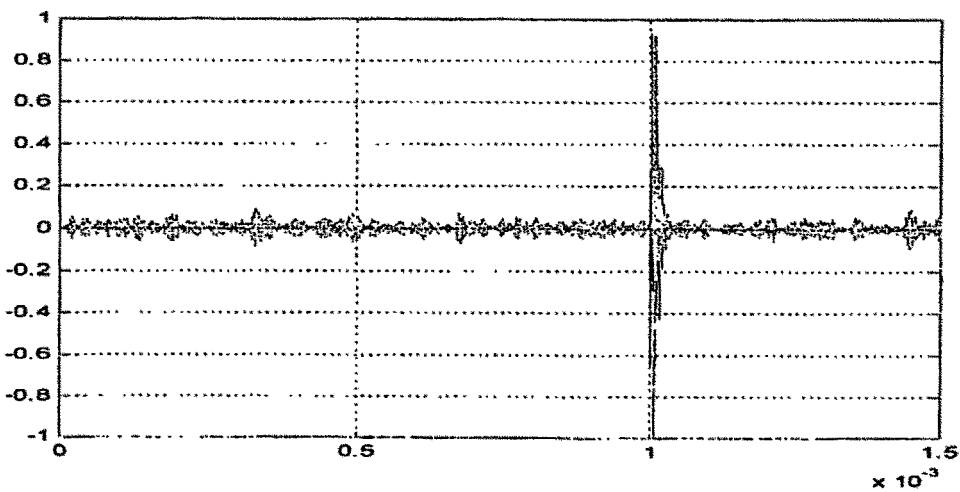


FIG. 3c

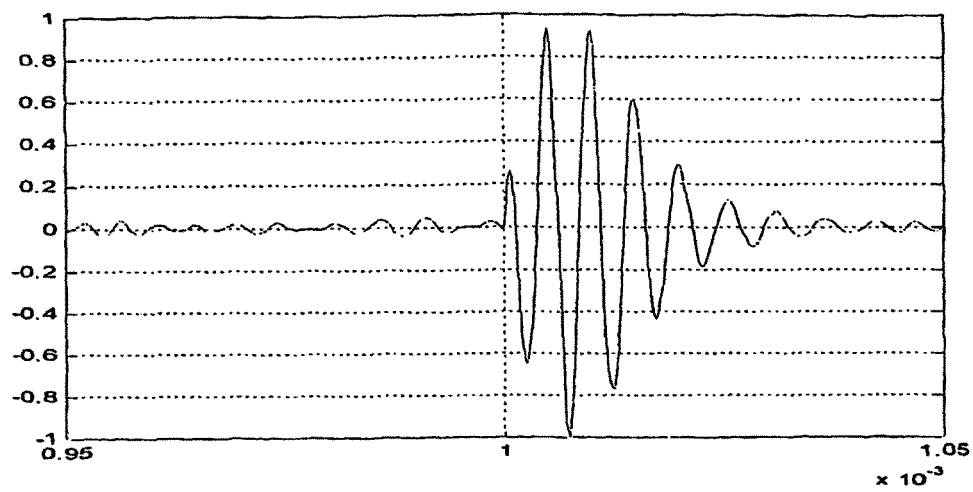


FIG. 3d

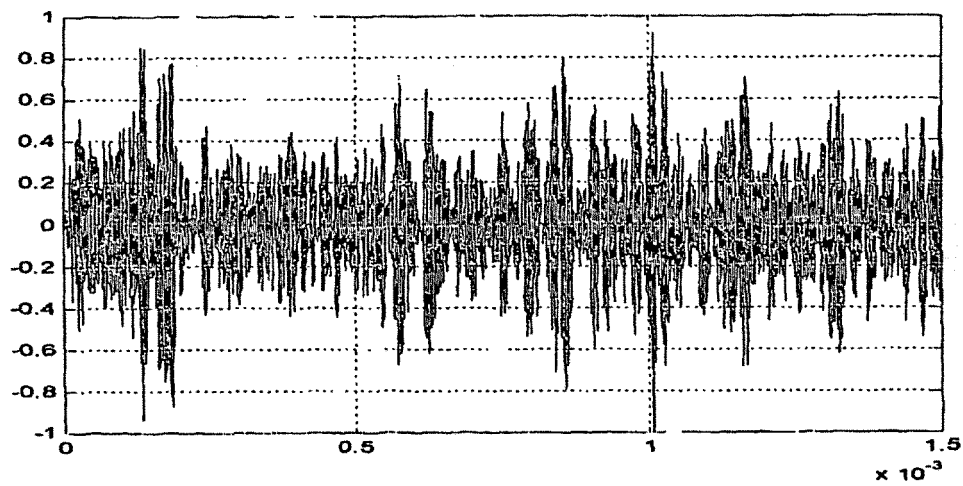


FIG. 3e

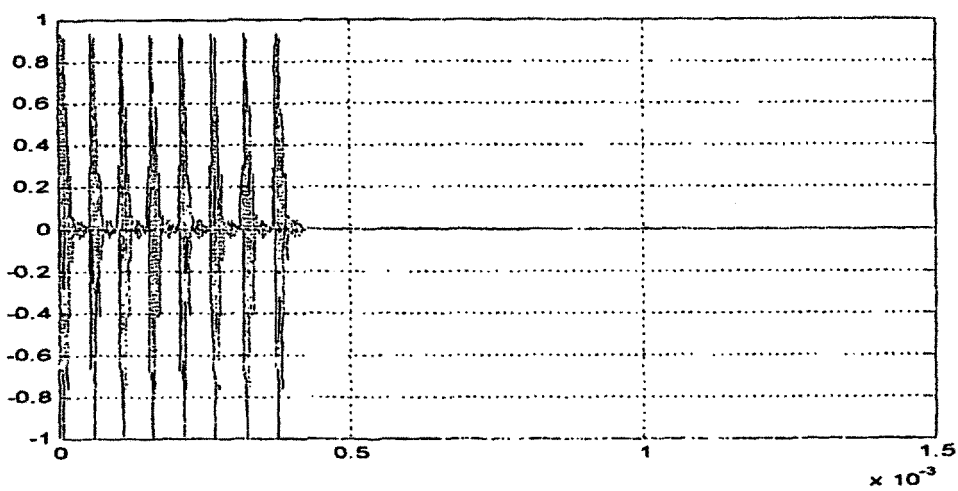


FIG. 4a

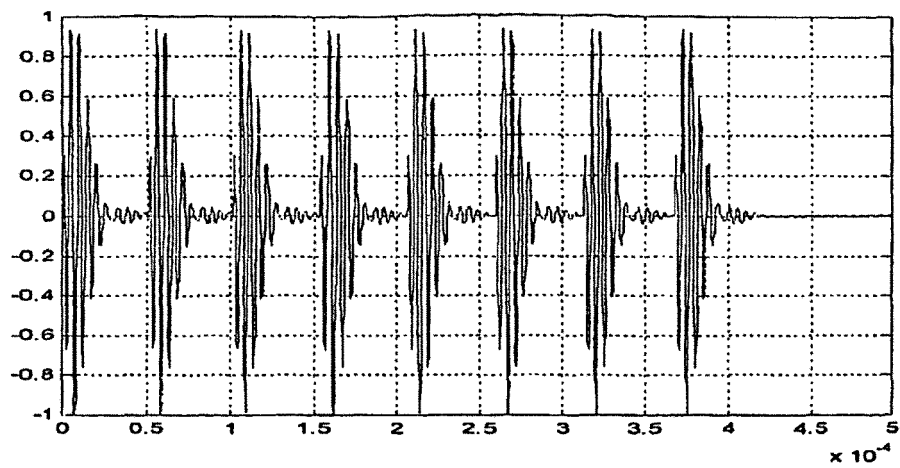


FIG. 4b

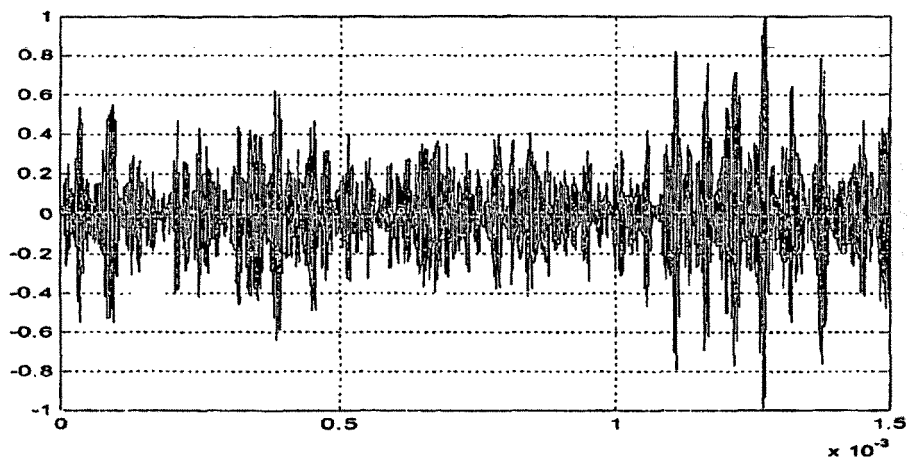


FIG. 4c

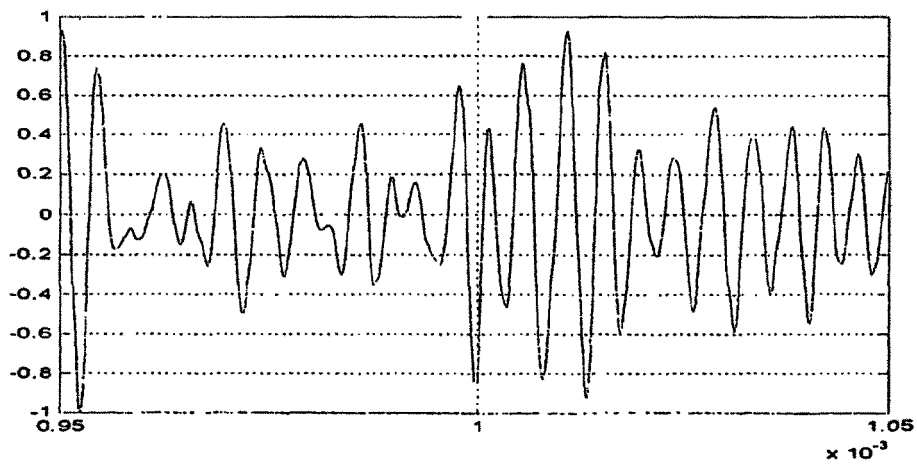


FIG. 4d

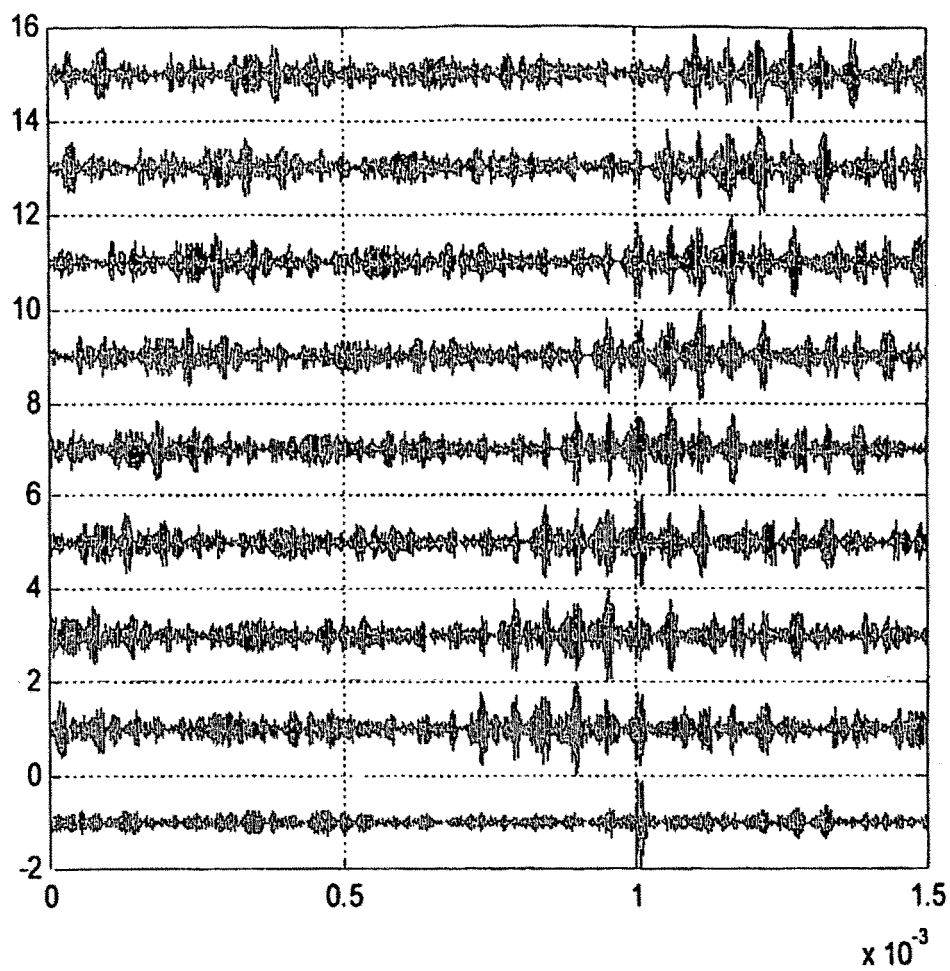


FIG. 5a

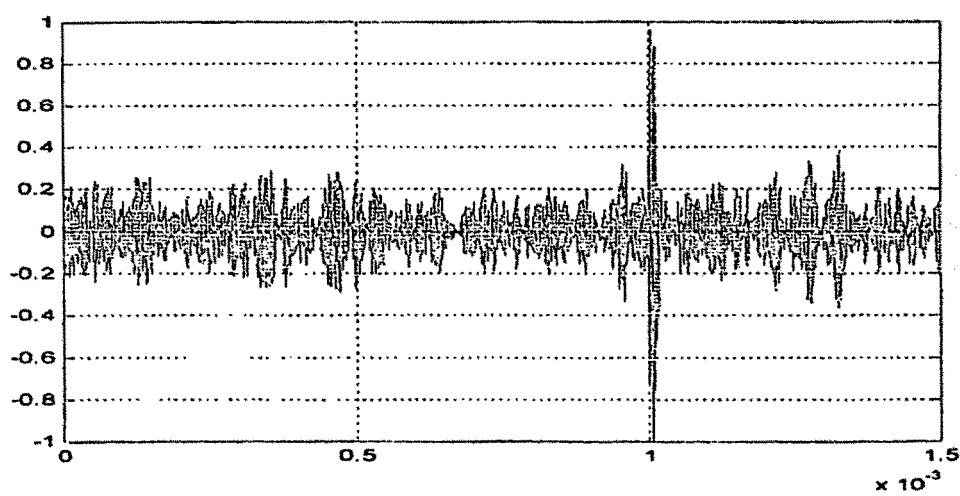


FIG. 5b

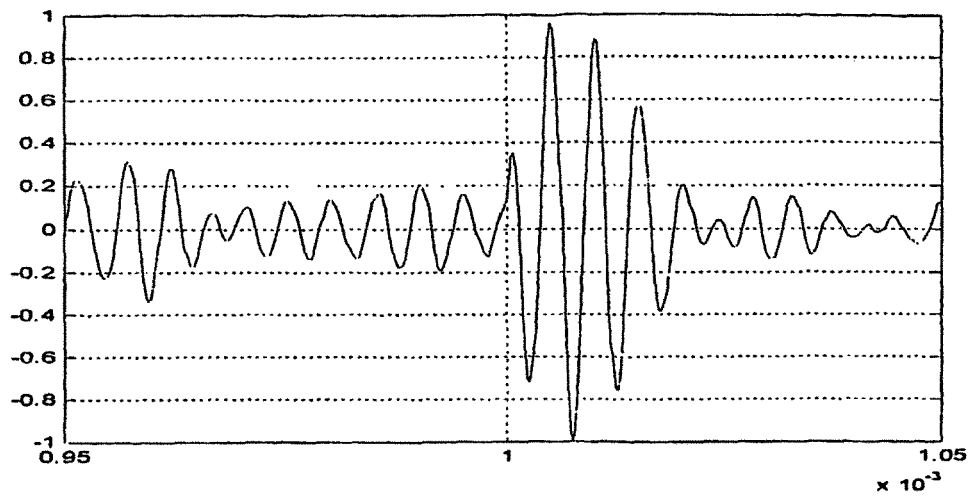


FIG. 5c