



Organización y
Digitalización CSA Ltda



Organización y
Digitalización CSA Ltda

15/10/17
26/17

Industria y Comercio

SUPERINTENDENCIA

Delegatura de Propiedad Industrial
División de Nuevas Creaciones

SOLICITUD PATENTE DE INVENCION

09-121148

21. EXPEDIENTE No.

54. TÍTULO

METODO PARA OPTIMIZAR LA SALIDA DE ENERGIA DE UN
ARREGLO DE VIBRADORES SISMICOS

51. CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL

71. SOLICITANTE

PGS GEOPHYSICAL AS

DOMICILIO

LYSAKER, NORUEGA

74. APODERADO

LUZ CLEMENCIA DE PAEZ
C.C. 35.456.344 de Usaquén

22. BOGOTÁ, D.C.,

99/



PETITORIO

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 09-121148- -00000-0000

Fecha: 2009-10-28 09:58:10 Dep. 2020 NUECREACIONE
Tra. 2 PATENTES Eve: 1 REGDEPOSITO
Act. 411 PRESENTACION Folios: 122

FORMULARIO UNICO DE SOLICITUD DE PATENTE

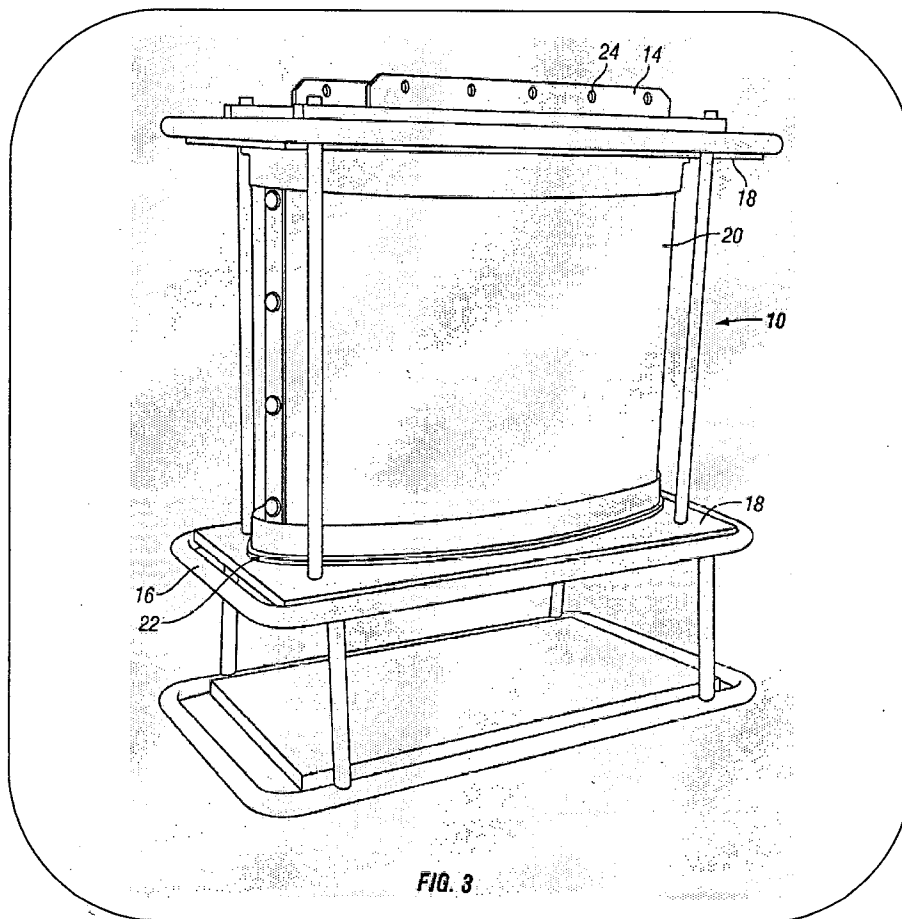
1 SOLICITUD DE: ☒ Patente de Invención. ☐ Patente de Modelo de Utilidad.			
2 SOLICITANTE (71)		Nombre: PGS GEOPHYSICAL AS Sociedad constituida y existente bajo las leyes de Noruega. Dirección: Strandveien 4, N-1366 Lysaker, Noruega Domicilio: Lysaker, Noruega	
		IDENTIFICACIÓN C.C. ☐ NIT ☐ C.E. ☐ Otro ☐ Número Cual	
3 REPRESENTANTE O APODERADO		Nombre: LUZ CLEMENCIA DE PÁEZ Dirección: Carrera 4ª. No. 72-35 Teléfono: 347 36 11 Fax: 211 86 50 E-mail: clientes@cavelier.com Domicilio: Bogotá, Colombia.	
		IDENTIFICACIÓN C.C. ☒ NIT ☐ C.E. ☐ Otro ☐ Número <u>35.456.344</u> Cual <u>T.P 23.555</u>	
4 INVENTOR (ES) (72)		1. Stig Rune LENNART TENGHAMN 3303 Sage Terrace, Katy, Texas 77450, Estados Unidos de América	
5 Título (54) MÉTODO PARA OPTIMIZAR LA SÁLIDA DE ENERGÍA DE UN ARREGLO DE VIBRADORES SÍSMICOS			
6 Clasificación Internacional (51) <u>G01V 001/000</u>			
7 Prioridad SI ☒ NO ☐		(33) País de Origen <u>US</u>	(32) Fecha <u>7 de noviembre de 2008</u>
(31) Número de Solicitud <u>12/291,221</u>			
8 Para publicar a partir de la fecha de la presente solicitud a los: 6 meses ☐ 12 meses ☐ 18 meses ☒ Otro ☐ Cual			
9 Comprobante de pago No.: <u>09-80,182</u> Fecha: <u>26 de octubre de 2009</u> Comprobante de pago No.: <u>09-77,163</u> Fecha: <u>13 de octubre de 2009</u> Comprobante de pago No.: <u>09-80,211</u> Fecha: <u>26 de octubre de 2009</u>			

10

Anexos:

- ☒ Comprobante de pago de la tasa de presentación de la solicitud por \$ 540.000.00.
- ☒ Comprobante de pago por 1 reivindicación adicional después de la decimoquinta reivindicación por \$ 25.000.00.
- ☒ Comprobante de pago por reivindicación de prioridad por \$ 151.000.
- ☐ Documento que acredita la existencia y representación legal cuando el solicitante sea persona jurídica.
- ☐ Poderes, si fuere el caso.
- ☒ Certificado de la fecha de presentación de la solicitud prioridad expedida por la autoridad correspondiente y una copia certificada de la primera solicitud si se reivindica prioridad.
- ☒ Traducción simple de la primera solicitud, si se reivindica prioridad.
- ☒ Documento de cesión del inventor al solicitante o a su causante.
- ☒ Resumen
- ☒ Descripción de la invención.
- ☒ Una o más reivindicaciones.
- ☒ Dibujos y/o planos necesarios
- ☐ De ser el caso, copia del contrato de acceso.
- ☐ De ser el caso, documento que acredite la licencia o autorización de uso de conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas.
- ☐ De ser el caso, certificado de depósito del material biológico.
- ☒ Arte final 12x12
- ☐ De ser el caso, información sobre otras solicitudes de patente o títulos obtenidos en el extranjero por el mismo titular o su causante, relacionadas parcial o totalmente con la invención de esta solicitud.

11

FIGURA CARACTERÍSTICA

12

Solicito la concesión de la patente,

NOMBRE: LUZ CLEMENCIA DE PAEZ

FIRMA : Luiz Clemencia Sobrera
C.C. 35.456.344 de Usaquén T.P. 23555

JGG

**MÉTODO PARA OPTIMIZAR LA SALIDA DE ENERGÍA DE UN ARREGLO DE
VIBRADORES SÍSMICOS**

Referencia cruzada con aplicaciones relacionadas

No aplica.

**Declaración relativa a investigaciones o desarrollos patrocinados
por el gobierno federal**

No aplica.

Antecedentes de la Invención

Campo de la Invención

[0001] Esta invención se relaciona de manera general a la exploración geofísica y en particular a una fuente sísmica vibratoria útil en la exploración geofísica. De forma más particular, la invención se refiere a métodos de uso de vibradores para la adquisición sísmica marina.

Antecedentes de la Técnica

[0002] Las fuentes de energía sísmica, incluyendo vibradores, se usan en la exploración geofísica tanto en áreas terrestres como en áreas cubiertas de agua de la Tierra. La energía acústica generada por dichas fuentes viaja hacia abajo dentro de la Tierra, es reflejada por interfaces reflectoras en la subsuperficie y se detecta mediante receptores sísmicos, típicamente por medio de hidrófonos o geófonos, en o cerca a la superficie del agua o a la superficie de la Tierra.

[0003] En la exploración sísmica marina, una fuente de energía sísmica, como por ejemplo un cañón de aire o un arreglo de dichos cañones de aire, se remolca cerca de la superficie de un cuerpo de agua. Un arreglo de receptores sísmicos, como por ejemplo hidrófonos, también se remolca en el agua en la vecindad del conjunto de receptores. En ciertos momentos, el cañón de aire, o

S

el arreglo de cañones de aire, es accionado para liberar un chorro de aire o gas a alta presión dentro del agua. El chorro de alta presión genera energía sísmica para investigar las estructuras geológicas en las formaciones rocosas que están por debajo del fondo de agua.

[0004] En la exploración sísmica marina, uno de los tipos de fuente de energía sísmica lo constituye el vibrador. Por lo general, un vibrador sísmico incluye una placa base acoplada al agua, una masa reactiva y un dispositivo hidráulico o de otro tipo que produce vibración de la masa reactiva y la placa base. Las vibraciones típicamente son conducidas a través de un rango de frecuencias en un patrón conocido como "barrido" o "gorjeo". A las señales detectadas por los receptores sísmicos se les hace correlaciones cruzadas con una señal de un sensor dispuesto cerca a la placa base. El resultado de la correlación cruzada es una señal sísmica que se aproxima a lo que hubieran detectado los receptores sísmicos si se hubiera usado una fuente de energía sísmica de tipo impulsiva. Una ventaja que proporciona el uso de vibradores para impartir energía sísmica dentro de la subsuperficie es que la energía se distribuye a lo largo del tiempo, por lo que se reducen los efectos en el medio ambiente, en comparación con los efectos ambientales causados por el uso de fuentes impulsivas.

[0005] No se trata sólo de los posibles beneficios ambientales del uso de vibradores lo que hace deseable el adaptar vibradores sísmicos para uso en la exploración sísmica marina. El tener una fuente de energía sísmica que pueda generar tipos arbitrarios de señales puede generar un beneficio significativo

al usar más señales "inteligentes" de energía sísmica que los barridos convencionales. Dicha fuente de energía sísmica podría generar señales, tener más de las características del ruido de fondo y, por consiguiente, ser más inmune a la interferencia del ruido y al mismo tiempo reducir su impacto ambiental. Un límite práctico para el uso de vibradores marinos para dichos esquemas sofisticados de señales, es la estructura de los vibradores marinos conocidos en la técnica. A fin de generar señales arbitrarias en la banda de frecuencia sísmica es necesario tener una fuente que tenga una alta eficiencia para hacer que dicha fuente sea controlable dentro de toda la banda de frecuencias sísmicas de interés. La combinación de varios vibradores marinos que sean controlables de forma individual con esquemas de señal más sofisticados haría posible generar señales sísmicas de varias fuentes discretas al mismo tiempo que tuvieran una correlación cruzada muy baja, lo que posibilitaría incrementar la eficiencia en la adquisición de datos sísmicos. Los vibradores marinos hidráulicos conocidos en la técnica típicamente poseen una frecuencia de resonancia que es más alta que el límite superior de las frecuencias sísmicas ordinarias de interés. Esto significa que la eficiencia energética del vibrador será muy baja, principalmente a bajas frecuencias pero en general en toda la banda de frecuencias sísmicas y puede ser difícil controlar dichos vibradores con respecto al tipo de señal y al contenido de la frecuencia. Los vibradores sísmicos marinos convencionales también están sujetos a una fuerte distorsión armónica, lo que limita el uso de señales más complejas. Es posible entender dichas características del vibrador al examinar la impedancia de un vibrador de baja frecuencia.

[0006] La impedancia total que experimentará un vibrador marino puede ser expresada de la siguiente manera:

$$Z_r = R_r + jX_r \quad (\text{Ec. 1})$$

donde Z_r es la impedancia total, R_r es la impedancia de radiación y X_r es la impedancia reactiva.

[0007] En un análisis de la transferencia de energía de un vibrador marino, el sistema incluye el vibrador y el agua puede ser aproximada a un pistón con deflector. La impedancia de radiación R_r , de un pistón con deflector se puede expresar como:

$$R_r = \pi a^2 \rho_0 c R_1(x) \quad (\text{Ec. 2})$$

y la impedancia reactiva se puede expresar como:

$$X_r = \pi a^2 \rho_0 c X_1(x) \quad (\text{Ec. 3})$$

donde:

$$x = 2ka = \frac{4\pi a}{\lambda} = \frac{2\omega a}{c} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$R_1(x) = 1 - \frac{2}{x} J_1(x) \quad (\text{Ec. 5})$$

$$X_1(x) = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sin(x \cos \alpha) \sin^2 \alpha d\alpha \quad (\text{Ec. 6})$$

en donde ρ_0 es la densidad del agua, ω es la frecuencia angular, k es el número de onda, a es el radio del pistón, c es la velocidad acústica, λ es la longitud de onda, y J_1 es una función Bessel de primer orden.

[0008] La aplicación la expansión en serie de Taylor a las ecuaciones anteriores nos proporciona las siguientes expresiones.

$$R_1(x) = \frac{x^2}{2^2 1! 2!} - \frac{x^4}{2^4 2! 3!} + \dots \quad (\text{Ec. 7})$$

$$X_1(x) = \frac{4}{\pi} \left[\frac{x}{3} - \frac{x^3}{3^2 \cdot 5} + \frac{x^5}{3^2 \cdot 5^2 \cdot 7} - \dots \right] \quad (\text{Ec. 8})$$

8

[0009] Para frecuencias bajas, cuando $x = 2ka$ es mucho menor a 1, la parte real e imaginaria de la expresión de la impedancia total se puede aproximar con el primer término de la expansión en serie de Taylor. Las expresiones para las frecuencias bajas, cuando la longitud de onda es mucho mayor que el radio del pistón, quedan así:

$$R_1(x) \rightarrow \frac{1}{2}(ka)^2 \quad (\text{Ec. 9})$$

$$X_1(x) \rightarrow \frac{8ka}{3\pi} \quad (\text{Ec. 10})$$

[0010] Se desprende que para las frecuencias bajas la impedancia de radiación R será menor comparada con la impedancia reactiva X , lo que sugiere una baja eficiencia en la generación de la señal. Por consiguiente, existe la necesidad de vibradores marinos eficientes que puedan generar señales complejas y existe la necesidad de mejorar la eficiencia temporal de la adquisición de datos sísmicos operacionales para proporcionar una operación más económica y para minimizar el impacto ambiental de la exploración sísmica marina.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0011] Un método, de acuerdo con un aspecto de la invención para generar energía sísmica para la exploración sub-superficial, incluye operar un primer vibrador sísmico en un cuerpo de agua y operar por lo menos un segundo vibrador sísmico en el agua de forma sustancialmente contemporánea con la operación del primer vibrador sísmico. Cada uno tiene seleccionada una respuesta de frecuencia diferente y cada uno de los vibradores será operado a una profundidad de agua tal que un eco de superficie amplifique

9

una salida descendente de cada vibrador dentro de un rango de frecuencias seleccionado.

[0012] Un método para la exploración sísmica marina, según otro aspecto de la invención, incluye la operación de un arreglo de vibradores sísmicos en un cuerpo de agua. El arreglo incluye una pluralidad de vibradores sísmicos, cada uno de los cuales tiene seleccionada una respuesta de frecuencia diferente. Cada uno de los vibradores se opera a una profundidad de agua tal que un eco de superficie amplifica una salida descendente para cada vibrador dentro del rango de frecuencias seleccionado. La señal usada para accionar a cada vibrador tiene un rango de frecuencias que le corresponde al respectivo vibrador. El método incluye la detección de las señales sísmicas originadas del arreglo en cada uno de una pluralidad de receptores sísmicos dispuestos en ubicaciones espaciadas entre sí.

[0013] Otros aspectos y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción y reivindicaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0014] La figura 1 muestra un ejemplo de exploración sísmica marina que es realizada mediante el uso de una pluralidad de fuentes de energía sísmica.

[0015] La figura 1A muestra un ejemplo de la implementación de un generador de señales para vibradores sísmicos.

[0016] La figura 1B muestra un ejemplo de dispositivo de detección de señal acoplado a un receptor sísmico.

[0017] La figura 2 muestra un ejemplo de la estructura de un vibrador hidráulico sísmico convencional.

[0018] La figura 3 muestra un ejemplo de estructura de un vibrador sísmico eléctrico.

[0019] La figura 4 muestra otro ejemplo de un vibrador en sección transversal.

[0020] La figura 5 muestra otro ejemplo de un vibrador en sección transversal.

[0021] La figura 6 muestra un espectro de amplitud simulado con dos resonancias.

[0022] La figura 7 es un ejemplo de una función de autocorrelación para un tipo de señal de espectro expandido de secuencia directa.

[0023] La figura 8 es un ejemplo de un código de espectro expandido de secuencia directa (DSSS).

[0024] La figura 9 es un gráfico del contenido de frecuencia de un excitador de fuente sísmica usando una señal codificada de acuerdo con la figura 8.

[0025] La figura 10 es un ejemplo de código de espectro expandido usando modulación bifásica.

[0026] La figura 11 es un gráfico del contenido de frecuencias de un excitador de fuente sísmica usando una señal codificada de acuerdo con la figura 10.

[0027] Las figuras 12A y 12B muestran, respectivamente, una señal DSSS y la respuesta de un vibrador de frecuencia baja a la señal excitadora DSSS.

11

[0028] Las figuras 13A y 13B muestran, respectivamente, una señal DSSS y la respuesta de un vibrador de frecuencia más alta que la que se muestra en la figura 12B a la señal excitadora DSSS.

[0029] Las figuras 14A y 14B muestran, respectivamente, las señales DSSS combinadas y las salidas de los dos vibradores, como se muestra en las figuras 12A, 12B, 13A y 13B.

[0030] La figura 15 muestra una autocorrelación de la suma de las señales en las figuras 13A y 13B.

[0031] La figura 16 muestra un ejemplo del espectro de frecuencias de tres fuentes de vibradores, cada una operada a una profundidad diferente dentro del agua.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0032] La invención está relacionada con métodos para usar una pluralidad de vibradores marinos. Los vibradores marinos usados con los métodos acordes con la invención, tienen cada uno preferiblemente por lo menos dos frecuencias resonantes dentro de un rango seleccionado de frecuencias sísmicas y cada uno de los vibradores en el arreglo tiene preferiblemente un rango diferente de frecuencias con respecto a los otros vibradores. En los métodos de acuerdo con la invención, el rango de frecuencias resonantes y la profundidad operativa en el agua de cada vibrador se seleccionan de forma tal que la salida de cada vibrador sea amplificada por el efecto de reflexión de energía de la superficie del agua (el "eco de superficie"). Al operar una pluralidad de dichos vibradores a dichas profundidades, es posible obtener una energía sísmica adicional dentro de prácticamente todo el rango de frecuencias sísmicas de interés

respecto a lo que sería posible con el uso de un solo vibrador o de una pluralidad de vibradores que no estén configurados ni operados como se describe en la presente. En algunos ejemplos, se pueden usar tipos particulares de señales excitadoras de vibradores para incrementar el rango efectivo de frecuencias de la energía acústica emitida por los respectivos vibradores.

[0033] La siguiente descripción incluye primero una descripción de un tipo particular de vibrador marino que puede usarse de forma ventajosa con métodos acordes con la invención. Dicha descripción estará seguida de una explicación de los tipos particulares de señales excitadoras que pueden usarse para incrementar el rango de frecuencias. Finalmente, la descripción concluye con una explicación sobre la selección de vibradores con rangos seleccionados de frecuencias y la operación de dichos vibradores a profundidades seleccionadas de agua.

[0034] Un ejemplo de exploración sísmica marina mediante una pluralidad de fuentes de energía sísmica de vibradores marinos se muestra de forma esquemática en la figura 1. Se muestra una embarcación de registro de exploración sísmica RV moviéndose a lo largo de la superficie de un cuerpo de agua W, como un lago o el océano. La embarcación de registro de exploración sísmica RV típicamente incluye equipos, que se muestran como RS y a los que se refieren por conveniencia como "sistema de registro", que en momentos seleccionados accionan una o más fuentes de energía sísmica 10, determina la posición geodésica de los diferentes componentes del sistema de adquisición sísmica y registra las señales detectadas por cada uno de una pluralidad de receptores sísmicos R.

[0035] Los receptores sísmicos R se despliegan típicamente en sitios distanciados entre sí a lo largo de uno o más cables marinos sonda S remolcados en un patrón seleccionado en el agua W por la embarcación de registro RV (y/o por otra embarcación). El patrón es mantenido por medio de ciertos equipos de remolque TE, incluyendo dispositivos denominados "paravanes" que proporcionan fuerza lateral para extender los componentes del equipo de remolque TE en las posiciones laterales seleccionadas con respecto a la embarcación de registro RV. La configuración del equipo de remolque TE, los paravanes P y los cables marinos sonda S se proporciona para ilustrar el principio de adquisición de señales sísmicas de acuerdo con algunos aspectos de la invención y no pretende limitar de forma alguna los tipos de dispositivos de registro que se pueden usar, su forma de despliegue en el agua o el número y el tipo de dichos componentes.

[0036] La embarcación de registro RV puede remolcar un vibrador 10. En el ejemplo de la figura 1, vibradores sísmicos adicionales 10 pueden ser remolcados a posiciones relativas seleccionadas con respecto a la embarcación de registro RV por embarcaciones fuente SV. El objeto de proporcionar los vibradores adicionales 10 remolcados por embarcaciones fuente SV es el de incrementar la cobertura de la sub-superficie provista por las señales detectadas por los receptores sísmicos R. El número de dichos vibradores adicionales 10 y sus posiciones relativas, como se muestra en la figura 1, no pretenden limitar el alcance de la invención.

[0037] En algunos ejemplos, como se explicará más adelante con referencia a la figura 16, una pluralidad de vibradores, cada uno

14

con un rango diferente de frecuencias, puede operarse con cada uno de dichos vibradores a una profundidad correspondiente al rango de frecuencias del vibrador.

[0038] La figura 2 muestra un ejemplo de un vibrador marino hidráulico convencional. La entrada de alimentación del aceite hidráulico se muestra en 35 y la salida de retorno del aceite se muestra en 36. Un pistón (placa base) 31 genera una onda de presión acústica y esta se dispone dentro de una caja con forma de campana (masa reactiva) 38. El aire 32 está dispuesto entre el pistón 31 y la carcasa tipo campana 38. El movimiento del pistón 31 se regula con una servoválvula 34. Se usa un acelerómetro 33 para proporcionar una retroalimentación o señal piloto. Los soportes de aislamiento 37 se montan en la caja con forma de campana 38 para reducir las vibraciones en el sistema de manipulación (no se muestra) usado para desplegar el vibrador. Debido al diseño rígido del vibrador, la primera frecuencia de resonancia de dicho vibrador está típicamente por encima del límite superior de la banda de frecuencias sísmicas y dicho vibrador tendrá una baja eficiencia en las frecuencias sísmicas típicas.

[0039] La figura 3 muestra un ejemplo de un tipo diferente de vibrador marino que se puede usar de acuerdo con la invención. El vibrador marino 10 comprende una fuente de vibrador 20 montada dentro de un bastidor 16. Se conecta una ménsula 14 a la parte superior del bastidor 16 e incluye aberturas 24 que pueden usarse para desplegar el vibrador 10 dentro del agua.

[0040] La figura 4 muestra un ejemplo del vibrador en corte transversal parcial que incluye un excitador 8, que puede ser un

15

excitador magnetostrictivo y que en algunos ejemplos puede estar formado de una aleación hecha de terbio, disprosio y hierro. Dicha aleación puede tener la fórmula $Tb(0,3) Dy(0,7) Fe(1,9)$, a tal fórmula se le conoce comercialmente como Terfenol-D. Aunque el ejemplo particular de vibrador descrito aquí muestra un solo excitador individual, una implementación en la que se usa una pluralidad de excitadores está comprendida dentro del alcance de la invención. El presente ejemplo incluye adicionalmente un muelle exterior 3 de excitador conectado a cada extremo 13 del excitador 8. En una implementación particular, el muelle del excitador 3 puede tener una forma elíptica. En el presente ejemplo, en que el excitador 8 comprende Terfenol-D, el excitador 8 comprende adicionalmente circuitos magnéticos (no se muestran de forma específica) que generarán un campo magnético cuando se les aplique una corriente eléctrica. El campo magnético causará que el material de Terfenol-D se alargue. Por medio de la variación de la magnitud de la corriente eléctrica y por consiguiente de la magnitud del campo magnético, se varía la longitud del excitador 8. Usualmente se utilizan imanes permanentes para aplicar un campo magnético de polarización al material de Terfenol-D y la variación en el campo magnético se genera aplicando una corriente eléctrica variable a las bobinas eléctricas (que no se muestran) que se forman alrededor del material de Terfenol-D. Las variaciones en la longitud del excitador 8 causan un cambio correspondiente en las dimensiones del muelle exterior 3 del excitador.

[0041] La figura 4 muestra componentes adicionales del vibrador, incluyendo un muelle interior 4 con masas 7 unidas a este. Como se indica más adelante, es posible incluir el muelle interior 4

de excitador con masas unidas a éste para proporcionar un segundo sistema de frecuencias de resonancia dentro del rango de frecuencias sísmicas de interés. Aunque un sistema vibrador que únicamente incluyera el muelle exterior 3 normalmente mostraría una segunda frecuencia de resonancia, para los sistemas que tienen un tamaño adecuado para la exploración geofísica marina, la segunda frecuencia de resonancia en dicho caso sería mucho más alta que las frecuencias comprendidas dentro del rango de frecuencias sísmicas de interés (típicamente entre 0 y 300 Hz).

[0042] Las ménsulas de montura 28, mostradas en la figura 4, están conectadas de manera fija en sus extremos superior e inferior a las placas de extremo superior e inferior 18 (mostradas en la figura 3). El excitador 8 está conectado de manera fija desde una locación central longitudinal de éste a las ménsulas de montura 28 para mantener un punto de referencia estable para el excitador 8. El movimiento de los extremos 13 de la varilla del excitador no está limitado con respecto a las ménsulas de montura 28.

[0043] El ejemplo que se muestra en la figura 4 incluye adicionalmente una carcasa exterior 2 a la cual se conecta el muelle exterior 3 mediante elementos de transmisión 5. A la forma de la carcasa 2 por lo general se le denomina como flexotensional. En una implementación particular, la carcasa exterior 2 comprende dos porciones laterales que pueden ser sustancialmente imágenes especulares entre sí e incluye dos barras terminales 1, en la cual las porciones laterales de la carcasa 2 están conectadas de forma abisagrada a las barras terminales 1 mediante bisagras 6. La figura 4 muestra una de las

17

porciones laterales de la carcasa exterior 2, denominada como porción lateral de carcasa 2a. Cuando se ensambla por completo, la segunda porción lateral de la carcasa (no mostrada en la figura 4), que comprende sustancialmente una imagen especular de la porción lateral de carcasa 2a, estará conectada de forma abisagrada por medio de bisagras 6 a las barras terminales 1, para completar una carcasa flexotensional que rodea al excitador ensamblado 8, al muelle exterior 3 y el muelle interior 4.

[0044] La figura 5 muestra un corte transversal del ensamblaje en la figura 4, montado en el vibrador marino 10.

[0045] Con referencia a la figura 3, el vibrador marino 10 comprende adicionalmente placas de extremo superior e inferior 18. La carcasa exterior ensamblada 2, que comprende las dos porciones laterales de la carcasa y las dos barras terminales 1, están unidas de forma hermética o sellada con las placas de extremo superior e inferior 18. Aunque la carcasa exterior 2 está enganchada de forma hermética o sellada con las placas de extremo superior e inferior 18, cuando el vibrador marino 10 está en operación, la carcasa exterior 2 permitirá el movimiento con respecto a las placas de extremo 18 por lo que la conexión entre las placas de extremo 18 y la carcasa exterior 2 será una conexión flexible, que puede ser proporcionada, por ejemplo, por una membrana flexible 22 (no mostrada en detalle).

[0046] La figura 6 muestra los resultados de una simulación por elementos finitos de un ejemplo de vibrador. Una primera frecuencia de resonancia 11 es producida principalmente por la interacción entre el muelle exterior 3 y el excitador 8. Una segunda frecuencia de resonancia 12 se produce principalmente por

la interacción entre el muelle interior 4 del excitador, con sus masas añadidas 7 y el excitador 8.

[0047] El muelle exterior 3 del excitador y el muelle interior 4 del excitador mostrados en las figuras pueden ser otros tipos diferentes de resortes a los representados. Por ejemplo, los muelles podrían ser resortes helicoidales u otro tipo de muelles o resortes que actúen sustancialmente de forma similar. En esencia, los muelles 3 y 4 son dispositivos de activación que proporcionan una fuerza relacionada con una cantidad de desplazamiento del dispositivo de activación. De manera similar, el muelle exterior 3 y el muelle interior 4 del excitador podrían usar un diafragma, un pistón en un cilindro sellado o un cilindro hidráulico para conseguir sustancialmente el mismo resultado.

[0048] Por medio de la introducción de una resonancia en el extremo inferior del espectro de frecuencias sísmicas, se puede generar energía acústica de frecuencia baja de forma más eficiente. En resonancia, la parte imaginaria (reactiva) de la impedancia se cancela de forma sustancial y la fuente acústica puede transmitir de manera eficiente la energía acústica dentro del agua. Al construir cualquier implementación específica del vibrador marino, se puede usar análisis con elementos finitos, tal como es conocido para los técnicos en la materia, para determinar la primera y segunda frecuencias de resonancia. En la realización de dichos análisis, los siguientes principios de operación son relevantes. Si la carcasa exterior es aproximada como un pistón, entonces para frecuencias bajas, la carga de masa o la masa fluida equivalente que actúa sobre la carcasa se puede expresar como:

$$M = \rho_0 \frac{8a^3}{3} \quad (\text{Ec. 11})$$

donde M es la carga de masa, ρ_0 es la densidad del agua, y a es el radio equivalente para un pistón de tamaño correspondiente al de la carcasa exterior.

[0049] La carcasa exterior 2 tiene un factor de transformación $T_{carcasa}$ entre el eje largo y el eje corto de su elipse, por lo que la deflexión de las dos porciones laterales de la carcasa (porción lateral 2a en la figura 4 y su imagen especular al otro lado de la carcasa exterior 2) tendrá una amplitud mayor que la deflexión de las barras terminales 1 (que interconectan las dos porciones laterales de la carcasa 2) causada por el movimiento del elemento de transmisión 5. Posteriormente, el muelle exterior 3 crea una carga de masa más grande sobre el excitador 8, puesto que el muelle exterior 3 también tiene un factor de transformación entre el eje largo y el eje corto de su elipse, en el cual eje largo tiene sustancialmente la longitud del excitador 8 y el eje corto tiene el ancho del muelle con forma elíptica. Al hacer referencia a este factor de transformación como T_{muelle} , la carga de masa en el excitador 8 se expresará así:

$$M_{excitador} = (T_{carcasa})^2 \cdot (T_{muelle})^2 \cdot \rho_0 \frac{8a^3}{3} . \quad (\text{Ec. 12})$$

[0050] La primera resonancia $f_{resonancia}$, para el vibrador será determinada sustancialmente por la siguiente relación masa muelle:

$$f_{resonancia} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M_{excitador}}} \quad (\text{Ec. 13})$$

20

donde K = constante del muelle, y $M_{excitador}$ = carga de masa en el excitador 8.

[0051] K representa la constante del muelle para el muelle exterior 3 combinada con el excitador 8, donde el muelle exterior 3 está conectado a la carcasa exterior 2, mediante elementos de transmisión 5, la barra terminal 1 y las bisagras 6.

[0052] Para proporcionar una transmisión eficiente de energía con el rango de frecuencias sísmica de interés, es importante que el vibrador esté configurado para tener una segunda frecuencia de resonancia dentro del rango de frecuencias sísmicas de interés. En ausencia del muelle interior, la segunda frecuencia de resonancia ocurrirá cuando el muelle exterior 3 del excitador, actuando de manera conjunta con el excitador 8, tenga su segundo modo característico o propio (Eigen-mode). Esta frecuencia de resonancia, sin embargo, es normalmente mucho más alta que la primera frecuencia de resonancia y, por consiguiente, estaría por fuera del rango de frecuencias de interés. Como resulta evidente de la ecuación precedente, la frecuencia resonante será reducida si la carga de masa en el muelle exterior 3 se incrementa. Esta carga de masa podría incrementarse añadiendo masa al excitador, sin embargo, con el fin de añadir la masa suficiente para lograr una segunda frecuencia de resonancia dentro del rango de frecuencias sísmicas de interés, la cantidad de masa que se necesitaría añadir al excitador haría que un sistema así fuera impráctico para su uso en operaciones sísmicas marinas. En un ejemplo práctico de vibrador, un segundo muelle, el muelle de interior 4 de excitador, se incluye dentro del muelle exterior 3 del excitador con masas añadidas 7 al lado del muelle interior 3.

21

El efecto de dicha masa añadida es equivalente a añadir masa en el extremo del excitador 8.

$$M_{\text{interior}} = (T_{\text{interior}})^2 \cdot M_{\text{añadido}} \quad (\text{Ec. 14})$$

[0053] El muelle añadido, esto es el muelle interior 4 del excitador, así mismo tendrá un factor de transformación T_{interior} , y aumentará la carga de masa sobre el excitador 8. El uso del muelle interior 4, con la masa añadida, permite que la segunda resonancia del sistema sea afinada de tal forma que la segunda resonancia esté dentro del rango de frecuencias sísmicas de interés, mejorando así la eficiencia del vibrador en la banda de frecuencias sísmicas. La segunda resonancia se puede determinar con esta expresión:

$$f_{\text{resonancia2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{\text{interior}} + K_{\text{excitador}}}{(T_{\text{interior}})^2 \cdot M_{\text{añadida}}}} \quad (\text{Ec. 15})$$

en donde K_{interior} = constante del muelle del muelles interior y $K_{\text{excitador}}$ = constante del montaje exterior del excitador.

[0054] Una posible ventaja de usar una estructura de excitador tal como se explica aquí es que las múltiples frecuencias resonantes posiblemente pueden proporcionar una respuesta de ancho de banda más amplia que la que es posible obtener con el uso de estructuras de vibrador de una sola resonancia. Una ventaja particular de usar un vibrador que tenga un elemento energizante operado eléctricamente (excitador), es que la respuesta del vibrador a una señal de control de entrada será más lineal, lo que haría posible el uso de tipos particulares de señales de excitador que se explican más adelante.

[0055] Al usar el sistema mostrado en la figura 1, puede ser ventajoso usar más de un vibrador sísmico 10, de forma contemporánea o incluso simultáneamente con el fin de incrementar la eficiencia con la cual se pueden obtener señales sísmicas relacionadas con las formaciones sub-superficiales (por debajo del fondo del agua). Las señales sísmicas detectadas por cada uno de los receptores R en dichas circunstancias ocasionará que la energía sísmica que se detecte sea la producida por cada uno de los vibradores 10 que estén efectivamente en operación al momento de registro de la señal.

[0056] En algunos ejemplos, la señal del excitador usada para operar cada uno de los vibradores puede tener un rango de frecuencias que corresponda al rango de frecuencias del vibrador en particular. Al usar dichas señales de excitador correspondientes, la salida acústica de cada vibrador se puede optimizar. Dichas señales de excitador pueden incluir "barridos" o "gorjeos", conocidos en la técnica para excitar vibradores sísmicos.

[0057] En otros ejemplos, la operación de los vibradores de forma contemporánea puede incluir excitar cada vibrador con una señal que no está sustancialmente correlacionada con la señal usada para excitar cada uno de los otros vibradores. Al usar dichas señales de excitador para operar cada uno de los vibradores, es posible determinar la porción de las señales sísmicas detectadas que se originaron en cada uno de los vibradores sísmicos. Un tipo de señal de excitador para operar los vibradores marinos en dichos ejemplos se conoce como señal de "espectro expandido de secuencia directa". La generación de la señal de espectro

23

expandido de secuencia directa (DSSS) usa una señal modulada codificada con una frecuencia "ficha", seleccionada para determinar el contenido de la frecuencia (ancho de banda) de la señal transmitida. Un "ficha" significa una sección en forma de pulso de la señal codificada de secuencia directa. Las señales de espectro expandido de secuencia directa también se pueden configurar por la selección apropiada de la frecuencia ficha y la forma de onda de una señal de banda base de forma tal que la señal DSSS resultante tenga características espectrales similares al ruido de fondo. Lo anterior podría hacer que las señales DSSS sean particularmente adecuadas para su uso en áreas ambientalmente sensibles.

[0058] Un ejemplo de implementación de un generador de señales para crear tipos particulares de señales de vibrador que se usa en la invención se muestra de forma esquemática en la figura 1A. Un oscilador local 30 genera una señal portadora de banda base. En un ejemplo la señal portadora de banda base puede ser un pulso de corriente directa, o de corriente continua directa de duración seleccionada. En otros ejemplos, la señal de banda base puede ser un barrido o un gorjeo como los que se usan en la exploración sísmica convencional vibrador-fuente, por ejemplo comprendiendo un rango de los 10 a los 150 Hz. Un generador de números pseudo aleatorios ("PRN"), o generador de códigos 32, genera una secuencia de números +1 y -1 de acuerdo con ciertos tipos de esquemas de codificación, como se explica más adelante. La salida del generador PRN 32 y la salida del oscilador local 30 se mezclan en un modulador 34. La salida del modulador 34 es conducida hasta un amplificador de potencia 36, la salida del cual finalmente opera uno de los vibradores sísmicos 10. Una

configuración similar se puede usar para operar cada vibrador de una pluralidad de vibradores, como los que se muestran en la figura 1.

[0059] Las señales generadas por el dispositivo mostrado en la figura 1A se pueden detectar usando un dispositivo como el que se muestra en la figura 1B. Cada uno de los receptores sísmicos R se puede acoplar a un preamplificador 38, ya sea de forma directa o a través de un multiplexor (no mostrado). La salida del preamplificador 38 se puede digitalizar en un convertidor análogo a digital (ADC) 40. Un modulador 42 mezcla la salida de la señal del ADC 40 con el código idéntico producido por el generador PRN 32. Como se explica más adelante, el dispositivo generador de señales que se muestra en la figura 1A y su correspondiente dispositivo de detección de señal que se muestra en la figura 1B generan y detectan una señal DSSS.

[0060] La explicación teórica de la generación y detección de una señal DSSS puede comprenderse como sigue: La señal DSSS, representada por u_i , se puede generar usando un "código de expansión" del espectro, representado por c_i , y generadado, por ejemplo, por el generador PRN 32 (en la figura 1A), para modular una portadora de banda base. Una portadora de banda base puede ser generada, por ejemplo, por el oscilador local (30 en la figura 1A). La portadora de banda base tiene una forma de onda representada por $\psi(t)$. El código de expansión tiene elementos individuales c_{ij} (llamados "fichas"), cada uno de los cuales tiene el valor +1 o -1 cuando $0 \leq j < N$ y 0 para todos los demás valores de j . Si se usa un generador PRN programado de forma apropiada, el código se repetirá a sí mismo después de un número

25

seleccionado de fichas. N es la longitud (número de fichas) del código antes de que tenga lugar la repetición. La portadora de banda base está centrada preferiblemente en el tiempo $t = 0$ y su amplitud está normalizada de tal forma que en el tiempo cero, la amplitud de la portadora de banda base es igual a la unidad, o ($\psi(0)=1$). El tiempo de incidencia de cada ficha i dentro del código de expansión se puede representar mediante Tc . La señal usada para excitar a cada vibrador podría definirse entonces mediante la expresión:

$$u_i(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_i^j \psi(t - jT_c) \quad (\text{Ec. 16})$$

La forma de onda $u_i(t)$ es determinista, por lo que su función de autocorrelación está definida por la expresión:

$$R_u(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u(t-\tau)dt \quad (\text{Ec. 17})$$

donde τ es el retardo de tiempo entre las señales correlacionadas. La función discreta de autocorrelación periódica para $a=a_j$, está definida por:

$$R_{a,a}(l) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{N-1-l} a_j a_{j+l}, & 0 \leq l \leq N-1 \\ \sum_{j=0}^{N-1+l} a_{j-l} a_j, & 1-N \leq l < 0 \\ 0, & |l| \geq N \end{cases} \quad (\text{Ec. 18})$$

Usando una fórmula similar a la ecuación 17 (Ec. 17) es posible determinar la correlación cruzada entre dos señales diferentes mediante la expresión:

$$R_{u,u'}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u'(t-\tau)dt \quad (\text{Eq. 19})$$

26

La función periódica discreta de correlación cruzada para $a = a_j$ y $b = b_j$, se define mediante la expresión:

$$R_{a,b}(l) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{N-1-l} a_j b_{j+l}, & 0 \leq l \leq N-1 \\ \sum_{j=0}^{N-1+l} a_{j-l} b_j, & 1-N \leq l < 0 \\ 0, & |l| \geq N \end{cases} \quad (\text{Ec. 20})$$

[0061] La señal detectada por los receptores R (en la figura 1) incluirá energía sísmica que se origina de uno de los vibradores para el cual se debe obtener información sísmica, así como también diversos tipos de interferencia, como ruido de fondo, representado por $n(t)$ y de la energía que se origina de los otros vibradores que transmiten al mismo tiempo, pero con diferentes códigos de espectro expandido de secuencia directa, (representados por $c_k(t)$, en donde $k \neq i$). La señal recibida en cada receptor, representada por $x_i(t)$, esto es la señal detectada por cada uno de los receptores (R en la figura 1) en un sistema con M vibradores sísmicos que operan al mismo tiempo puede ser descrita mediante la expresión:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^M u_j(t) + n(t) \quad (\text{Ec. 21})$$

[0062] La energía de cada vibrador penetrará las formaciones geológicas sub-superficiales que están debajo del fondo del agua y las señales reflejadas de la sub-superficie serán detectadas en los receptores después de un tiempo de desplazamiento en "dos direcciones", dependiendo de las posiciones de los vibradores y los receptores y de la distribución de velocidades sísmicas en el agua y en la sub-superficie, por debajo del fondo del agua. Si la señal transmitida del vibrador para el código expandido de

27

secuencia dividida i sucede en el tiempo $t = t_0$, entonces la señal recibida resultante se dará en el tiempo $t = \tau_k + l_k T_c + t_0$ después de la transmisión, donde $l_k =$ cualquier número entero y $\tau_k =$ la desalineación entre la señal recibida y el tiempo de ficha T_c . La señal recibida puede mezclarse con el código de expansión idéntico usado para producir la señal de salida de cada vibrador $u_i(t_0)$, como se muestra en la figura 1B. Tal mezcla proporcionará una señal que se puede correlacionar con la señal usada para excitar a cada vibrador en particular. La salida mezclada se puede usar para determinar la respuesta sísmica de las señales que se originan en cada vibrador respectivo. Lo anterior se puede expresar de esta forma, para las señales detectadas:

$$\begin{aligned}
 y_i(\tau_i + l_i T_c + t_0) &= u_i(t_0) x_i(\tau_i + l_i T_c + t_0) = u_i(0) x_i(\tau_i + l_i T_c) \\
 &= u_i(0) \left(\sum_{k=1}^K u_k(\tau_k + l_k T_c) + n(t) \right) \\
 &= u_i(\tau + l_i T_c) u_i(0) \\
 &\quad + \sum_{k=1, k \neq i}^M u_k(\tau_k + l_k T_c) u_i(0) + u_i(t) n(t)
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 22}$$

[0063] La mezcla (figura 1B) de la señal detectada con el código de expansión produce una correlación. El resultado de la correlación es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 R_{y u_i}(\tau_i + l_i T_c) &= \sum_{j=0}^{N-1} \psi(0) \psi(\tau_i) c_i^j c_i^{j+l} \\
 &\quad + \sum_{j=0}^{N-1} \left[\psi(0) \sum_{k=1, k \neq i}^M \psi(\tau_k) c_i^j c_k^{j+l_k} \right] + u_i(t) n(t)
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 23}$$

[0064] La simplificación de las expresiones anteriores proporciona el siguiente resultado:

$$\begin{aligned}
R_{yu_i}(\tau_i + l_i T_c) &= d_i \psi(0) \psi(\tau_i) \sum_{j=0}^{N-l_i-1} c_i^j c_i^{j+l} \\
&+ \psi(0) \sum_{k=1, k \neq i}^M \left[\sum_{j=0}^{N-l_k-1} \psi(\tau_k) c_i^j c_k^{j+l_k} \right] + u_i(t) n(t) \\
&= \psi(0) \psi(\tau_i) R_{u_i u_i}(l_i) \\
&+ \psi(0) \sum_{k=1, k \neq i}^M \left[\psi(\tau_k) R_{u_i u_j}(l_k) \right] + u_i(t) n(t)
\end{aligned} \tag{Ec. 24}$$

[0065] Si $R(0)=N$ y $\psi(0)=1$, la expresión anterior se simplifica:

$$\begin{aligned}
R_{yu_i}(0) &= \psi(0)^2 R_{u_i u_i}(0) + \psi(0) \sum_{k=1, k \neq i}^M \left[\psi(\tau_k) R_{u_i u_j}(l_k) \right] + u_i(t) n(t) \\
&= \underbrace{N}_{\text{datos}} + \underbrace{\sum_{k=1, k \neq i}^M \left[\psi(\tau_k) R_{u_i u_j}(l_k) \right]}_{\text{correlaciones-cruzadas}} + \underbrace{u_i(t) n(t)}_{\text{ruido-de-fondo}}
\end{aligned} \tag{Ec. 25}$$

[0066] La ecuación 25 muestra que es posible separar las señales de espectro expandido de secuencia directa correspondientes a cada código de expansión de una señal que tiene componentes de una pluralidad de códigos de expansión. En esencia N representa la autocorrelación de la señal transmitida y, mediante el uso de señales sustancialmente de espectro expandido no correlacionadas u ortogonales para excitar cada vibrador marino, la correlación cruzada entre ellas será muy pequeña comparada con N . Otra ventaja posible es que cualquier ruido que aparezca durante una parte del intervalo del tiempo en que las señales sísmicas son grabadas será promediado en toda la extensión de la grabación y, de esta forma atenuado, como se puede inferir a partir de la ecuación 25.

[0067] En una implementación práctica, una respuesta sísmica de la sub-superficie a la energía sísmica impartida desde cada uno de los vibradores se puede determinar por la correlación cruzada de las señales sísmicas detectadas con la señal que se usa para excitar a cada vibrador, donde la correlación cruzada incluye un

rango de retrasos de tiempo seleccionados, típicamente desde cero hasta el máximo tiempo esperado de desplazamiento en dos direcciones de la energía sísmica para las formaciones de interés en la sub-superficie (usualmente de unos 5 a 6 segundos). La salida de la correlación cruzada puede almacenarse y/o presentarse en un formato de trazas sísmicas, con correlación cruzada de amplitud como una función de retardo de tiempo.

[0068] La portadora de banda base tiene dos propiedades que pueden ser optimizadas. La portadora de banda base debe ser seleccionada para proporcionar la salida del vibrador con un contenido de frecuencia adecuado y una autocorrelación que tiene un pico de correlación bien definido. La ecuación (25) también muestra que la longitud del espectro expandido de secuencia directa afectará la relación señal a ruido de la señal del vibrador. Los picos de correlación resultantes de la correlación cruzada realizada como se explicó anteriormente se incrementarán de forma lineal con la longitud (número de fichas) del código expandido. Una N más larga (secuencias más prolongadas) mejorará las características señal a ruido de la señal del vibrador.

[0069] Por medio del uso de secuencias de código expandido adecuadamente seleccionadas es posible generar señales sísmicas que se aproximan al ruido de fondo en las estadísticas espectrales. Algunas secuencias útiles que se pueden usar para una pluralidad de vibradores se discute más adelante.

[0070] Las secuencias de "longitud máxima" son un tipo de código cíclico que se generan usando un registro de desplazamiento lineal que tiene m etapas conectadas en serie, con la salida de ciertas etapas adicionadas por medio del módulo 2 y

retroalimentas a la entrada del registro de desplazamiento. El término secuencia de "longitud máxima" se deriva del hecho de que dicha secuencia es la secuencia más larga que se puede generar usando un registro de desplazamiento. Matemáticamente la secuencia se puede expresar por el polinomio $h(x)$

$$[0071] \quad h(x) = h_0x_m + h_1x_{m-1} + \dots + h_{n-1}x + h_n \quad (\text{Ec. 26})$$

[0072] Para $1 \leq j < m$, entonces $h_j = 1$ si hay retroalimentación en la etapa j , y $h_j = 0$ si no hay retroalimentación en la etapa j . $h_0 = h_m = 1$. La etapa h_j , que debe ser ajustada a 1 o 0 no es aleatoria sino que debe ser seleccionada de manera que $h(x)$ se convierta en un polinomio primitivo. "Primitivo" significa que el polinomio $h(x)$ no se puede factorizar. El número de fichas para una secuencia de longitud máxima es dado por la expresión $N = 2m - 1$, donde m representa el número de etapas en el registro de desplazamiento. La secuencia de longitud máxima tiene un "1" adicional al número de "0". Para una secuencia de 511 fichas, por ejemplo, hay 256 unos y 255 ceros.

[0073] Otro tipo de secuencia que puede usarse es la secuencia Gold. La estructura de las secuencias Gold se describe en R. Gold, *Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing*, IEEE Trans. Information Theory, vol. IT-13, pp. 619-621 (1967) (Secuencias binarias óptimas para el multiplexado de espectro expandido). Las secuencias Gold tienen unas buenas características de correlación cruzada, adecuadas para su uso cuando se usa más de un vibrador al mismo tiempo. Las secuencias Gold se generan usando dos o más secuencias de longitud máxima. Es posible generar $N + 2$ secuencias Gold a partir de secuencias

de longitud máxima, donde N es la longitud de la secuencia. Las secuencias Gold tienen un periodo $N=2^m-1$ y existen para todos los enteros m que no son múltiplos de 4. Una posible desventaja de las secuencias Gold es que la autocorrelación no es tan buena como en las secuencias de longitud máxima.

[0074] Los conjuntos de secuencias Kasami pueden ser usados en algunos ejemplos porque tienen una correlación cruzada muy baja. Existen dos conjuntos diferentes de secuencias Kasami. Un procedimiento similar al que se usa para generar las secuencias Gold generará el "pequeño conjunto" de las secuencias Kasami con $M = 2^{n/2}$ secuencias binarias de periodo $N = 2^n - 1$, donde n es un entero par. Dicho procedimiento comienza con una secuencia de longitud máxima, designada como a y la formación de la secuencia a' diezmando a por $2^{n/2} + 1$. Se puede mostrar que la secuencia resultante a' es una secuencia máxima con periodo $2^{n/2} - 1$. Por ejemplo, si $n = 10$, el periodo de a es $N = 1023$ y el periodo de a' es 31. Por consiguiente, al observar 1023 bits de la secuencia a uno observará 33 repeticiones de la secuencia de 31 bits. Luego, al tomar $N = 2^n - 1$ bits de secuencias a y a' es posible formar un nuevo conjunto de secuencias al adicionar, por módulo 2, los bits de a y los bits de a' y todos los desplazamientos cíclicos $2^{n/2} - 2$ de los bits de a' . Al incluir a en el conjunto, el resultado es un conjunto de $2^{n/2}$ secuencias binarias de longitud $N = 2^n - 1$. Las funciones de autocorrelación y correlación cruzada de estas secuencias toman sus valores del conjunto $\{-1, -(2^{n/2} + 1), 2^{n/2} - 1\}$. El "conjunto grande" de secuencias Kasami también consta de secuencias de periodo $2^n - 1$, donde n es un entero par y contiene tanto las secuencias Gold como el "pequeño conjunto" de las

secuencias Kasami como subconjuntos. Consultar, por ejemplo, *Spreading Codes for Direct Sequence CDMA and Wideband CDMA Cellular Networks*, IEEE Communications Magazine, Sept. 1998 (Códigos de expansión de secuencia directa CDMA y redes celulares de banda ancha CDMA).

[0075] En la implementación de códigos de expansión para generar una señal de excitador para los vibradores, puede ser preferible usar modulación bifásica para generar las fichas en el código. Con referencia a la figura 8, se muestra un ejemplo de código de expansión, donde un cambio de polaridad de +1 a -1 representa el número -1 y el cambio inverso de polaridad representa el número +1. El espectro de señal generado por el anterior código de expansión se muestra en la figura 9. Lo que resulta evidente a partir de la figura 9 es que existe una sustancial amplitud de señal en DC (frecuencia cero). Dicho espectro de señal generalmente no es adecuado para la generación de señales sísmicas. Sin embargo, si la modulación usada es bifásica, la amplitud de la señal en la frecuencia cero es sustancialmente cero. El mismo código de expansión que se muestra en la figura 8 implementado usando la modulación bifásica, se muestra en la figura 10. La modulación bifásica se puede implementar al tener cada bit de la señal de entrada original (fichas en el código de expansión) representados como dos estados lógicos, los cuales conjuntamente forman un bit de salida. Cada "+1" lógico en la entrada se puede representar, por ejemplo, como dos bits diferentes (10 o 01) en el bit de salida. Cada entrada lógica "-1" se puede representar, por ejemplo, como dos bits iguales (00 o 11) en la salida. Por consiguiente, cada nivel lógico al inicio de una celda de bit es una inversión del nivel al final de la

celda previa. En la salida de modulación bifásica, los "+1" y "-1" lógicos se representan con la misma amplitud de voltaje pero con polaridades opuestas. El espectro de señal del código de expansión mostrado en la figura 10 se ilustra en la figura 11. La amplitud de señal en la frecuencia cero es muy pequeño (inferior a -50 decibeles), lo que hace que dicho código sea más adecuado para la generación de energía sísmica.

[0076] Un ejemplo de código DSSS de frecuencia baja usado para excitar un vibrador configurado de forma apropiada se muestra en la figura 12A. El código DSSS puede ser configurado para proporcionar una salida de frecuencia seleccionada mediante la selección apropiada de la tasa de fichas. Un espectro de salida de energía de un vibrador configurado de forma apropiada usando el código de la figura 12A se muestra en la correspondiente figura 12B. La figura 13A muestra un código DSSS usado para excitar un vibrador configurado con una frecuencia más alta. Las respuestas del vibrador (espectro de señal de salida) de dicho vibrador al código DSSS de la figura 13A se muestra en la figura 13B. Ambas señales sísmicas se suman de forma efectiva. Después de la detección de las señales de cada vibrador mencionado en las señales sísmicas recibidas, como se explicó antes, las señales detectadas pueden ser sumadas. Las señales DSSS combinadas se muestran en la figura 14A y el espectro de salida combinado del vibrador se muestra en la figura 14B. Una autocorrelación de las señales sumadas se muestra en la figura 15 indicando dos picos distintos de correlación, uno por cada código DSSS. Los diferentes vibradores pueden operarse cada uno a una profundidad seleccionada en el agua correspondiente al rango de frecuencias de cada vibrador.

[0077] Como se explicó al comienzo de la presente descripción, en algunos ejemplos se puede usar más de un vibrador en cualquier locación particular en el agua, por ejemplo, como se muestra en la figura 1, como el 10 que es remolcado por la embarcación de exploración sísmica y también se muestra como un 10 que es remolcado por una o más embarcaciones fuente. En tales configuraciones de múltiples vibradores, cada uno de los vibradores que se muestran como 10 en la figura 1 se puede sustituir por dos o más vibradores marinos sísmicos (un "arreglo" de vibradores) hecho como se describe en la presente con referencia a las figuras 3 a 6. En el presente ejemplo cada uno de dichos arreglos de vibradores en cada locación individual tiene dos o más vibradores, cada uno de los cuales tiene una respuesta de frecuencia diferente. La respuesta de frecuencia de un vibrador en particular puede ser determinada, por ejemplo, como se explicó antes con referencia a las figuras 3, 4 y 5, mediante la selección adecuada de la masa en la carcasa exterior, las masas adicionales y las tasas de los muelles interior y exterior.

[0078] Por lo general, la exploración sísmica marina usa un rango de frecuencias fuente de entre 1 a 100 Hz. En algunos ejemplos, un arreglo de vibradores puede incluir un vibrador con rango de frecuencias baja para generar una parte de las frecuencias bajas de la señal sísmica, (por ejemplo de 3 a 25 Hz) y otro, un vibrador con rango de frecuencias más alto para generar energía sísmica de frecuencia más alta, (por ejemplo de 25 a 100 Hertz). Como se explicó anteriormente, el tipo de vibrador marino divulgado puede tener dos o más frecuencias de resonancia dentro

de la banda de frecuencias sísmicas. Para poder obtener una alta eficiencia de cada uno de los vibradores del arreglo, cada uno de los vibradores se puede configurar para que tenga una alta eficiencia de respuesta únicamente dentro de una porción seleccionada del rango de frecuencias sísmicas de interés. El uso de una pluralidad de vibradores, donde cada uno de ellos tiene un rango de respuesta de frecuencia relativamente estrecho pero diferente, asegurará una operación más eficiente de cada vibrador, en el arreglo de vibradores. En un ejemplo específico, es posible remolcar cada uno de los vibradores del arreglo a diferentes profundidades seleccionadas para mejorar la salida acústica del arreglo.

[0079] Además, como se explicó anteriormente, es posible excitar cada uno de los vibradores en un arreglo con una señal excitadora que tenga el rango de frecuencia correspondiente. Al excitar cada vibrador con una señal excitadora que tenga un rango de frecuencias correspondiente al rango de frecuencias del vibrador, es posible optimizar la salida de cada vibrador en el arreglo.

[0080] Como ejemplo, un arreglo de vibradores incluye tres vibradores hechos como se explicó en referencia con a las figuras 3 a 5, cada uno operando en los siguientes rangos de frecuencias.

Vibrador 1: 5-14 Hz.

Vibrador 2: 15-45 Hz.

Vibrador 3: 45-120 Hz.

[0081] En el presente ejemplo, cada vibrador se remolca a una profundidad tal, que la amplitud de la energía sísmica propagada en una dirección descendente (hacia el fondo del agua) desde cada vibrador se amplifica por el efecto de reflexión de la energía

sísmica de la superficie del agua (esto es la fuente eco). Al remolcar los vibradores a dichas profundidades, es posible lograr una mejoría de hasta 6 decibeles en la salida del arreglo debido al eco de la superficie. Una respuesta de ejemplo de un arreglo de tres vibradores, con profundidades de vibradores adecuadamente seleccionadas, se muestra de forma gráfica en la figura 16. Las curvas en la figura 16 representan la salida de los tres vibradores mencionados remolcados a 30 metros, 15 metros y 7 metros, mostrados respectivamente en 50, 52 y 54 en la figura 16. Lo que se puede observar en la figura 16 es que al usar los vibradores marinos que tienen la respuesta de frecuencia seleccionada adecuadamente y por medio de la selección adecuada de la profundidad de operación de cada uno de dichos vibradores, es posible usar el eco de superficie para amplificar la energía que se propaga en dirección descendente desde cada uno de los vibradores del arreglo.

[0082] Con el fin de hacer que la salida de los vibradores en cada arreglo actúe como una sola fuente de energía sísmica (y por consiguiente sumar las salidas de los vibradores que se muestran en la figura 16), también es necesario tener en cuenta el retardo que causará la operación de los vibradores a diferentes profundidades. La suma de las fuentes requiere el uso de expresiones similares a la siguiente (si la velocidad acústica en el agua se asume como 1.500 metros por segundo) para compensar la profundidad diferente de cada vibrador.

$$[0083] \text{ Vibrador } 1(t) + \text{ Vibrador } 2(t+dt_{\text{fuente2}}) + \text{ Vibrador } 3(t+dt_{\text{fuente3}})$$

$$[0084] dt_{\text{vibrador2}} = (\text{profundidad_vibrador1} - \text{profundidad_vibrador2}) / 1500$$

[0085] $dt_{vibrador3} = (profundidad_vibrador1 - profundidad_vibrador3)/1500$

[0086] Al proporcionar un arreglo de vibradores y al seleccionar los vibradores en el arreglo con respuestas a frecuencias específicas y al operar cada vibrador a una profundidad correspondiente a su respuesta de frecuencia, el resultado es una optimización tanto de la respuesta de frecuencia del vibrador como de las profundidades a las cuales se debe remolcar cada vibrador para ganar la mayor potencia para penetrar la sub-superficie.

[0087] En algunos ejemplos, los vibradores pueden ser excitados usando barridos o gorjeos conocidos en la técnica. En algunos ejemplos, los vibradores de un arreglo pueden ser excitados usando señales de excitación de espectro expandido, por ejemplo las señales DSSS descritas anteriormente con referencia a las figuras 8 a 15. En dichos ejemplos, el ancho de banda (rango de frecuencias) de la señal usada para operar cada vibrador del arreglo se puede seleccionar para que corresponda al rango de frecuencia de cada vibrador. El uso de dichas señales de excitación para cada vibrador puede incrementar la eficiencia de cada vibrador en el arreglo.

[0088] Los vibradores sísmicos y los métodos para operar dichos vibradores, de acuerdo con los diferentes aspectos de la invención, pueden proporcionar una detección de señales sísmicas más robusta, pueden reducir el impacto ambiental de la exploración sísmica al expandir la energía sísmica sobre un rango relativamente amplio de frecuencias y puede incrementar la eficiencia de la exploración sísmica al posibilitar la operación simultánea de una pluralidad de fuentes sísmicas, a la vez que

permite la detección de energía sísmica de las fuentes sísmicas individuales.

[0089] Aunque la invención ha sido descrita con respecto a un número limitado de modalidades, aquellos expertos en la técnica, que tengan el beneficio de esta divulgación, apreciarán que se pueden concebir otras modalidades que no se apartan del alcance de la invención divulgada en la presente. Por consiguiente, el alcance de la invención sólo debe estar limitado por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

Lo que se reivindica es:

1. Un método para generar energía sísmica para la exploración sub-superficial que comprende:
Operar un primer vibrador sísmico en un cuerpo de agua y;
Operar al menos un segundo vibrador sísmico en el cuerpo de agua de forma sustancialmente contemporánea con la operación del primer vibrador sísmico, el primero y el segundo vibradores sísmicos tienen cada uno una diferente respuesta de frecuencia seleccionada, el primero y segundo vibradores operados cada uno a una profundidad de agua tal que un eco de superficie amplifica una salida descendente de cada vibrador dentro de un rango de frecuencias seleccionado, el primero y segundo vibradores excitados cada uno por una señal que tiene una frecuencia correspondiente a la respuesta de frecuencia del vibrador respectivo.
2. El método de la reivindicación 1 donde la señal de control comprende un barrido.
3. El método de la reivindicación 1 donde la señal de control para cada vibrador comprende un código de espectro expandido de secuencia dividida.
4. El método de la reivindicación 3 donde el código comprende por lo menos una secuencia de longitud máxima, una secuencia Gold y una secuencia Kasami.
5. El método de la reivindicación 1 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia en una banda de frecuencias seleccionada.

- 40
6. El método de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente la detección de señales sísmicas en una pluralidad de locaciones espaciadas y la determinación de porciones de las señales sísmicas detectadas originadas del primer vibrador sísmico y del al menos segundo vibrador sísmico.
 7. El método de la reivindicación 1 donde un tiempo de actuación de cada vibrador corresponde a la profundidad a la cual es operado cada vibrador de forma que el primero y al menos un segundo vibrador actúen como un arreglo de vibradores.
 8. El método de la reivindicación 1 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia dentro de un rango correspondiente a su respuesta de frecuencia.
 9. Un método de exploración marina que comprende:
La operación de un arreglo de vibradores sísmicos en un cuerpo de agua, el arreglo incluye una pluralidad de vibradores sísmicos, cada uno de los cuales posee una frecuencia de respuesta diferente seleccionada, los vibradores son operados cada uno a una profundidad de agua tal que un eco de superficie amplifica una salida descendente de cada vibrador dentro de un rango de frecuencias seleccionadas, una señal usada para excitar a cada vibrador, correspondiente a la respuesta de frecuencia de cada vibrador y;

la detección de señales sísmicas originadas del arreglo en cada uno de una pluralidad de receptores sísmicos dispuestos en locaciones espaciadas.

10. El método de la reivindicación 9 donde la señal de control para cada vibrador comprende un barrido.
11. El método de la reivindicación 9 donde la señal de control para cada vibrador comprende un código de espectro expandido de secuencia directa.
12. El método de la reivindicación 11 donde el código comprende al menos una de entre una secuencia de longitud máxima, una secuencia Gold y una secuencia Kasami..
13. El método de la reivindicación 9 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia en una banda de frecuencias seleccionada.
14. El método de la reivindicación 9 que comprende adicionalmente la detección de señales sísmicas en una pluralidad de locaciones espaciadas y la determinación de las porciones de las señales sísmicas detectadas originadas desde el primer y el al menos segundo vibradores sísmicos.
15. El método de la reivindicación 9 donde un tiempo de actuación de cada vibrador corresponde a la profundidad a la cual cada vibrador es operado de tal forma que los vibradores actúan como un arreglo de vibradores.
16. El método de la reivindicación 9 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia dentro de un rango correspondiente a su respuesta de frecuencia.

RESUMEN

[0090] Un método para generar energía sísmica para la exploración sub-superficial incluye la operación de un primer vibrador sísmico y la operación de al menos un segundo vibrador sísmico en un cuerpo de agua, de forma sustancialmente contemporánea con la operación del primer vibrador sísmico. Cada vibrador tiene seleccionada una respuesta de frecuencia diferente y cada uno de los vibradores se opera a una profundidad en el agua tal que un eco de superficie amplifica una salida descendente de cada vibrador dentro del rango de frecuencias seleccionado. Una señal usada para excitar cada vibrador tiene un rango de frecuencias correspondiente al rango de frecuencia de cada vibrador.

43

1/11

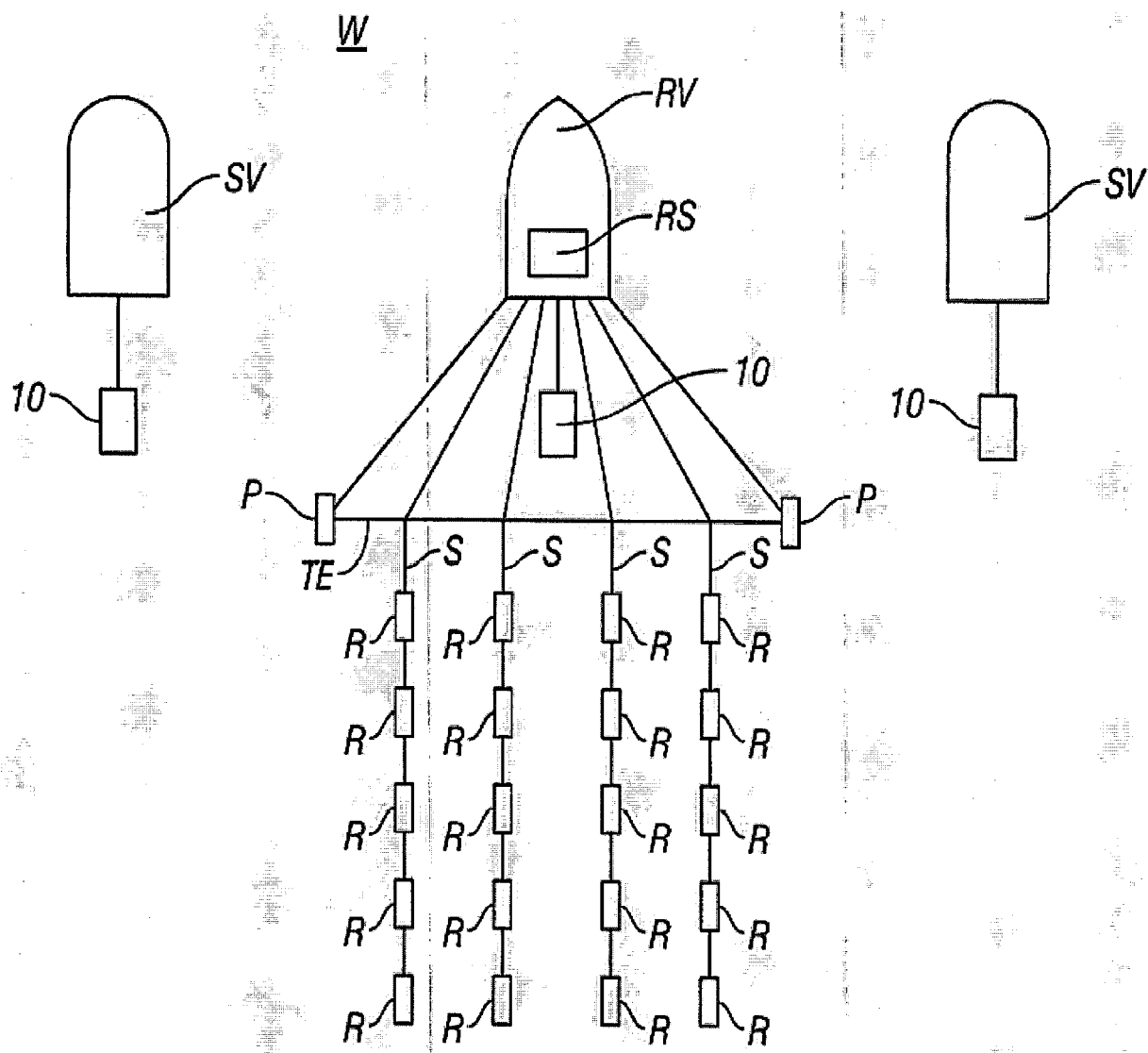


FIG. 1

2A

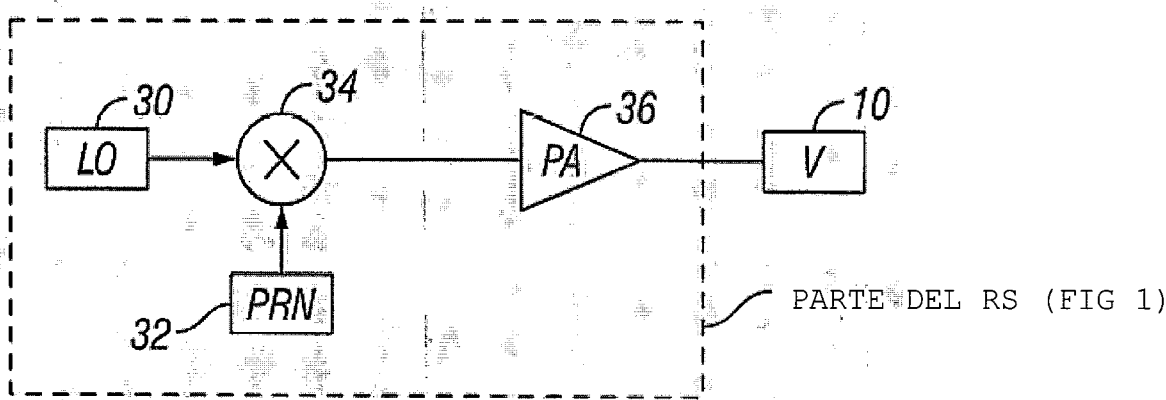


FIG. 1A

PARTE DEL RS (FIG. 1)

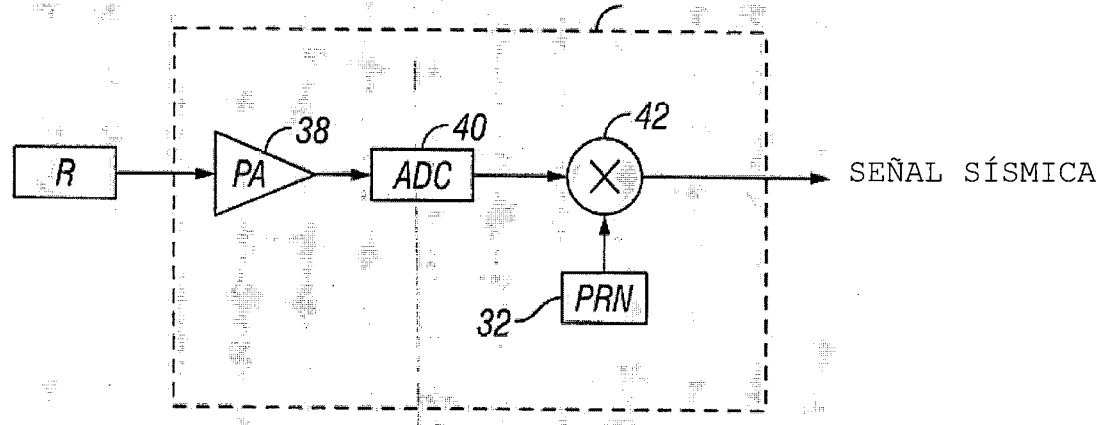


FIG. 1B

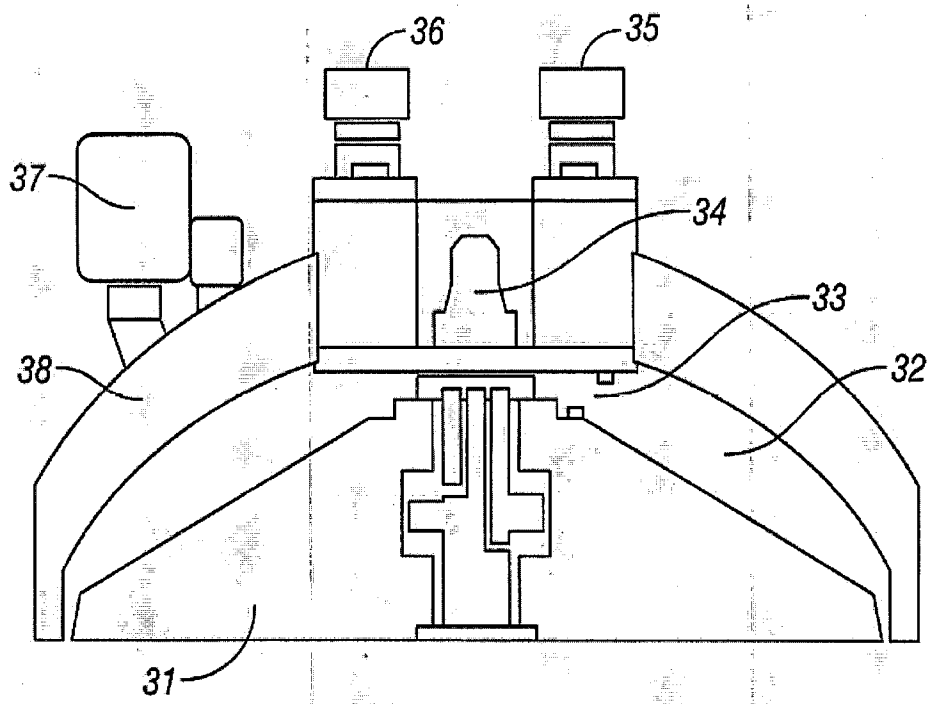


FIG. 2
(Anterioridad)

4/11

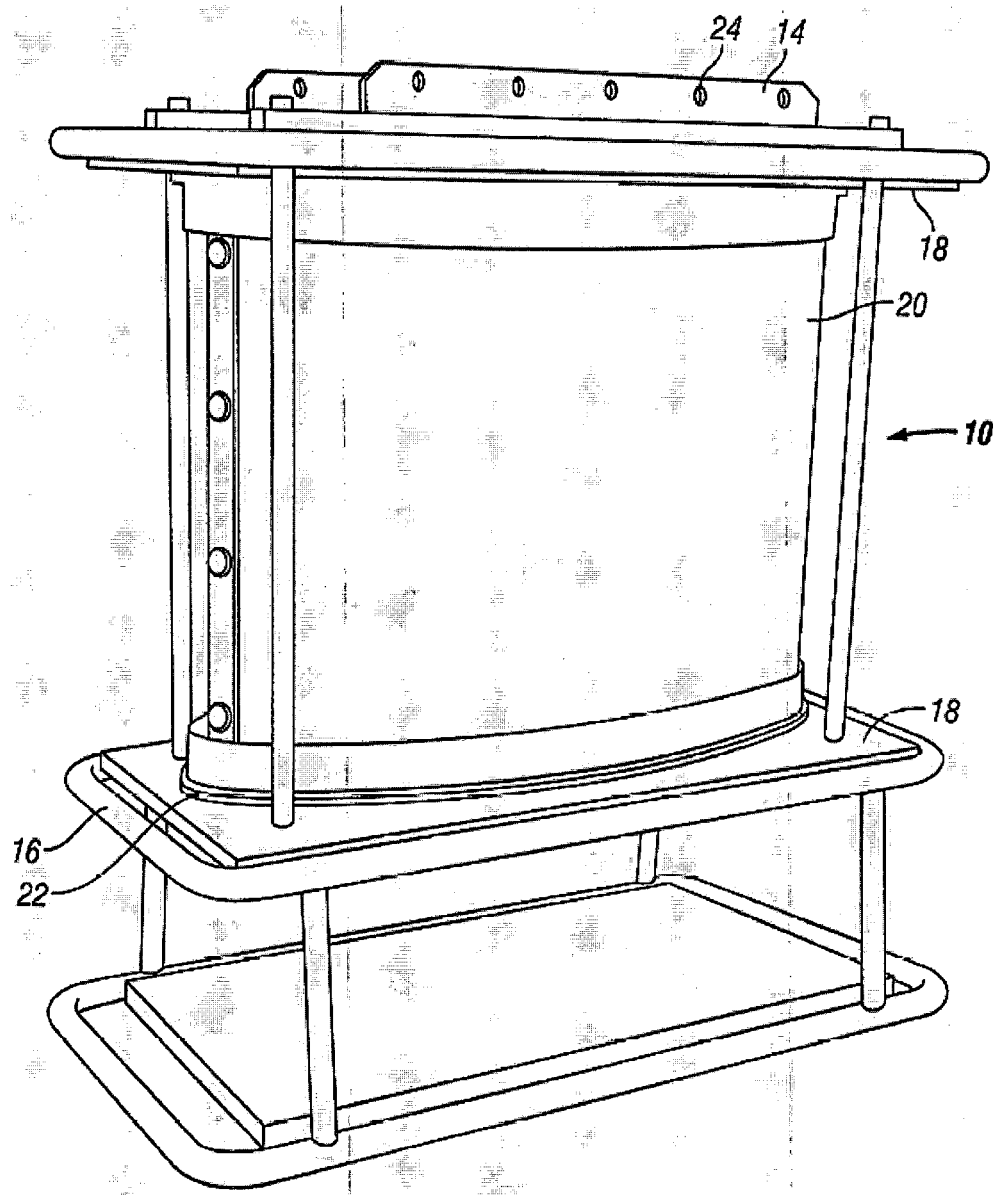


FIG. 3

47

5/11

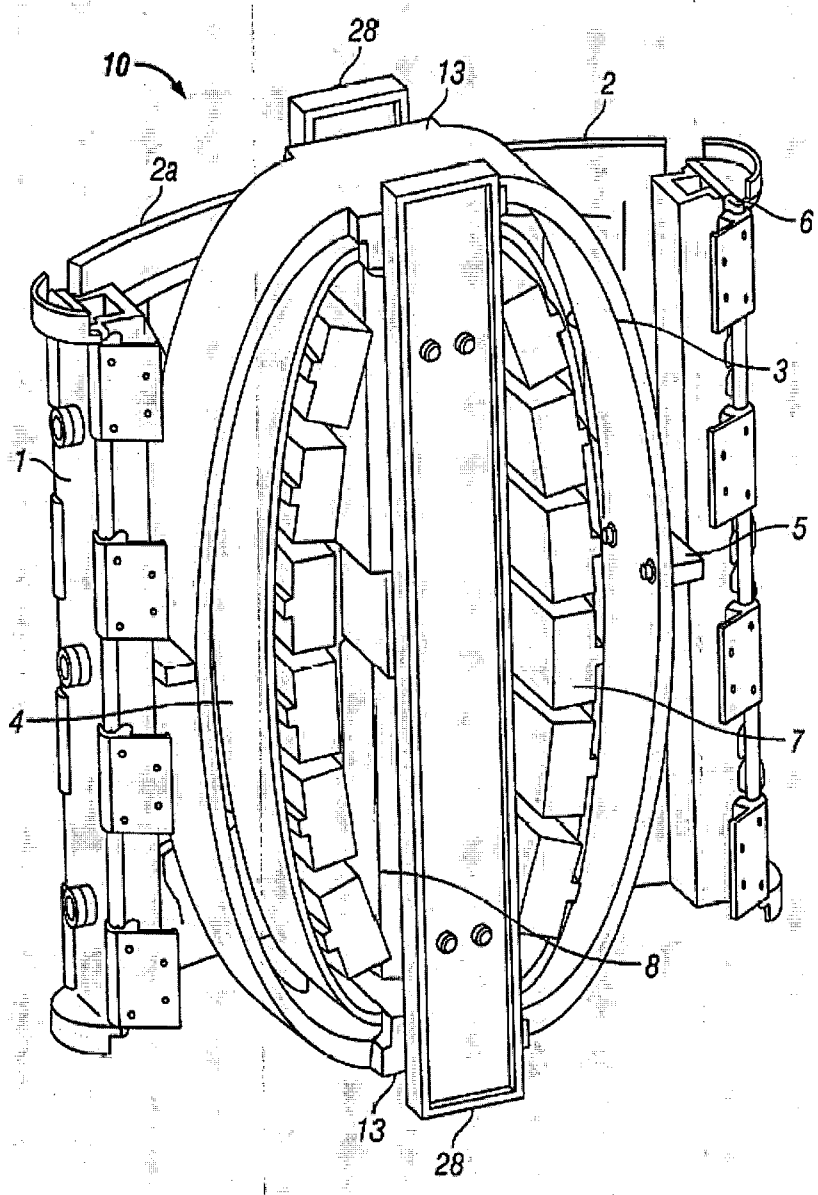


FIG. 4

48

6/11

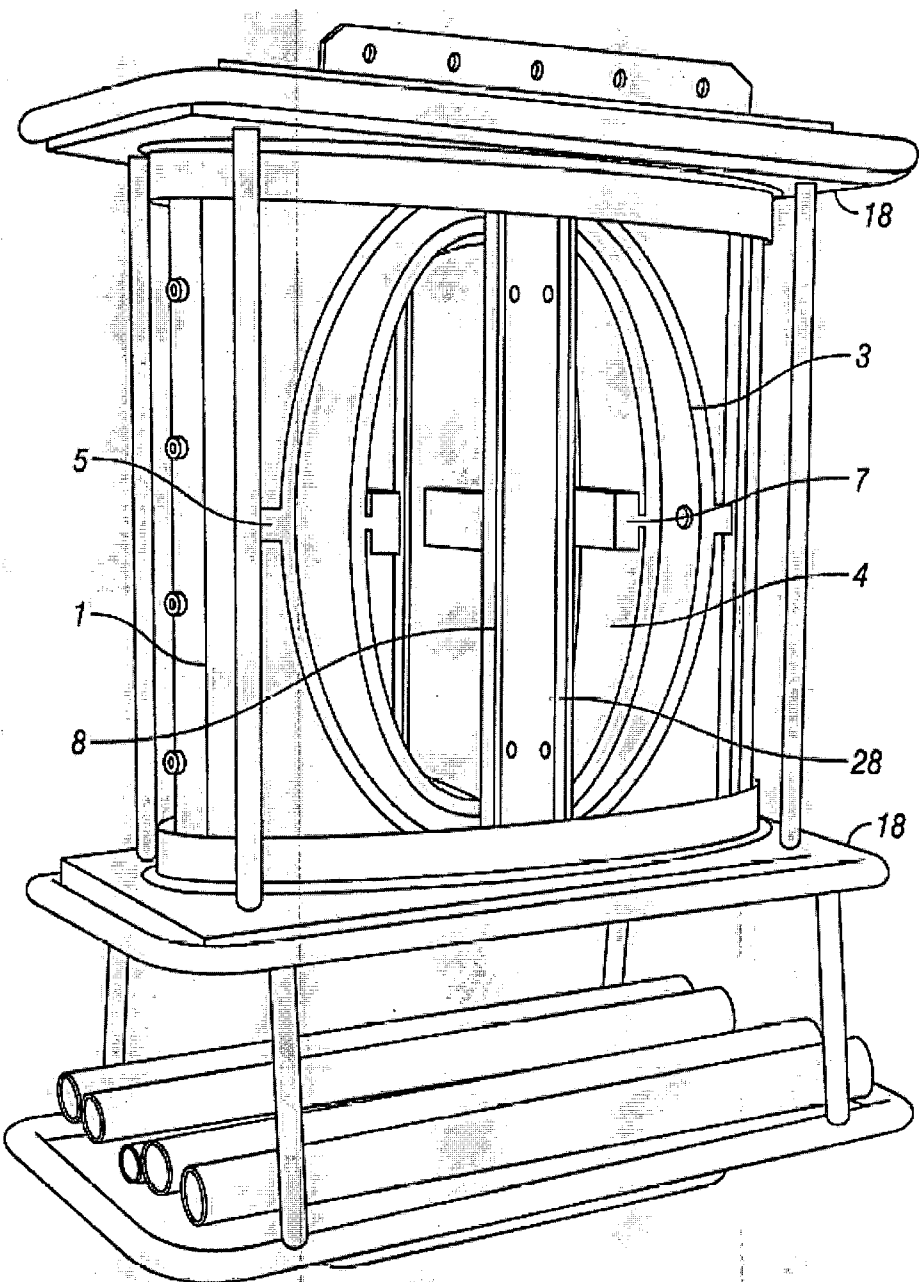


FIG. 5

249

7/11

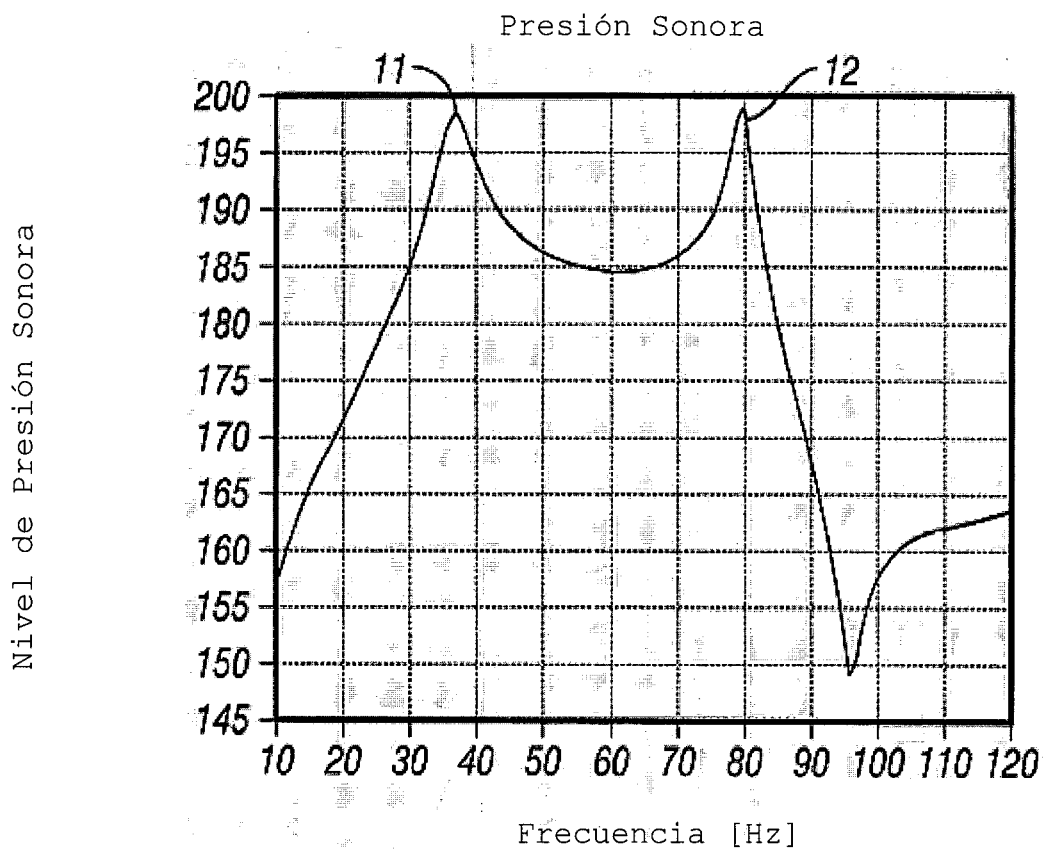


FIG. 6

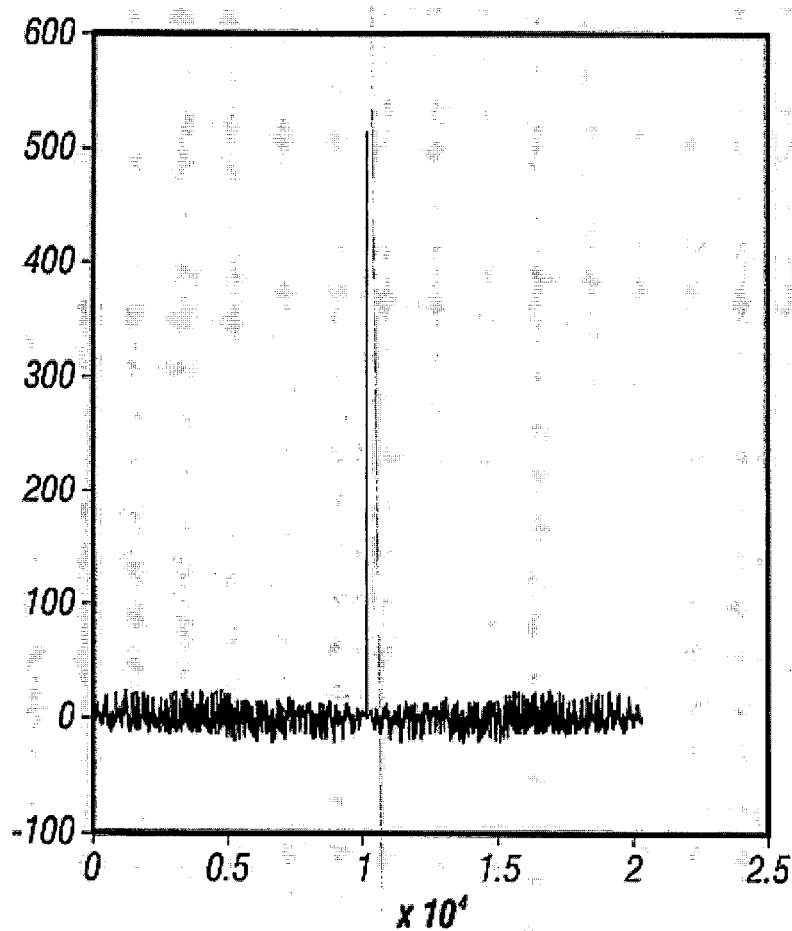


FIG. 7

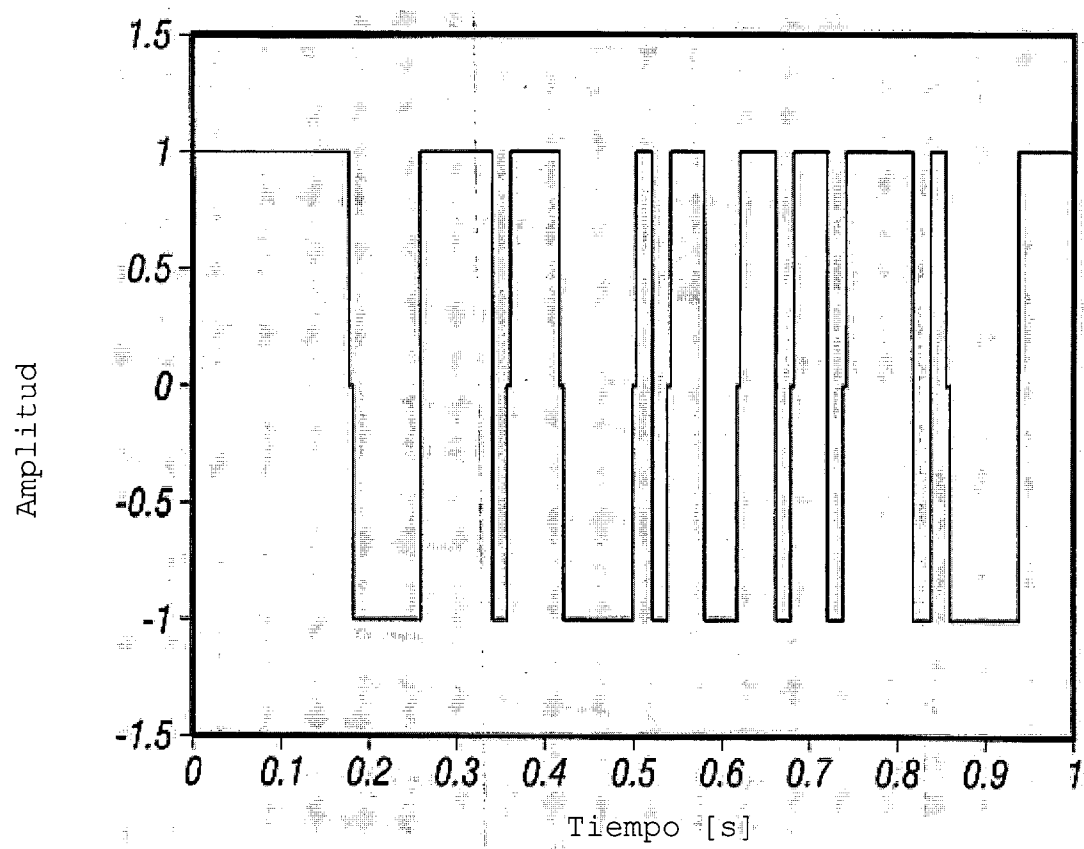


FIG. 8

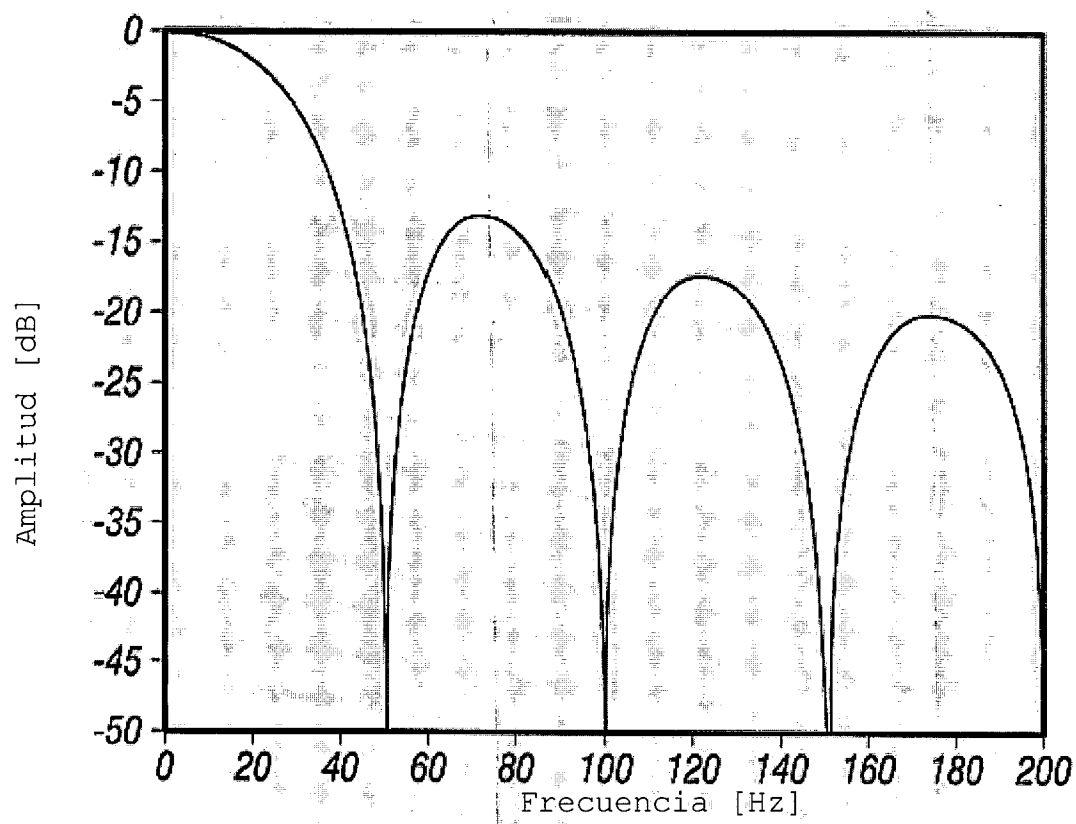


FIG. 9

51

9/11

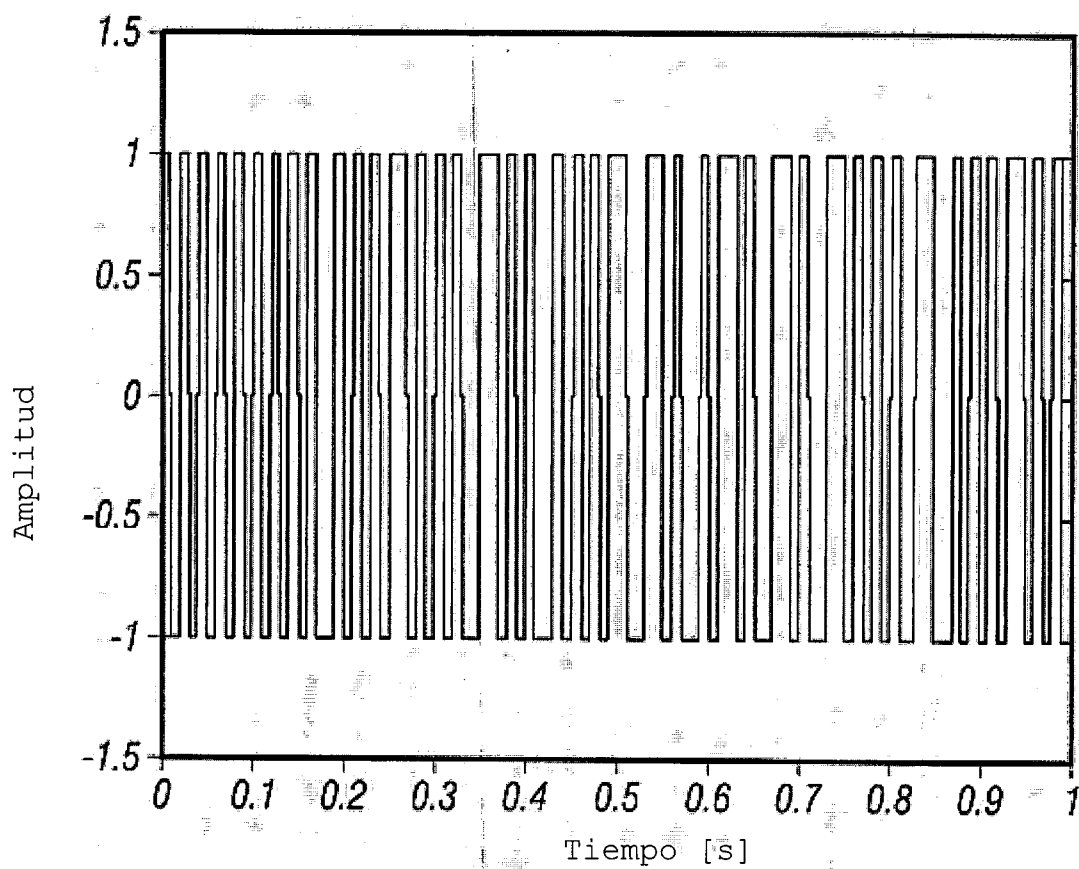


FIG. 10

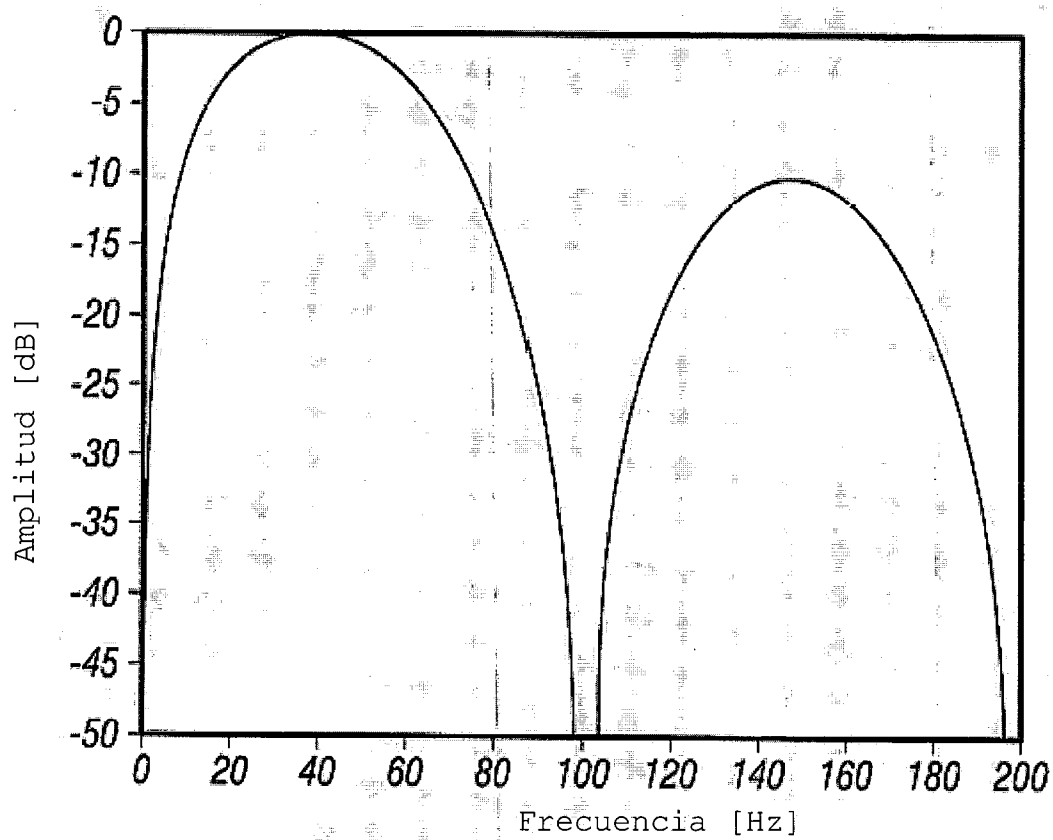


FIG. 11

52

10/11

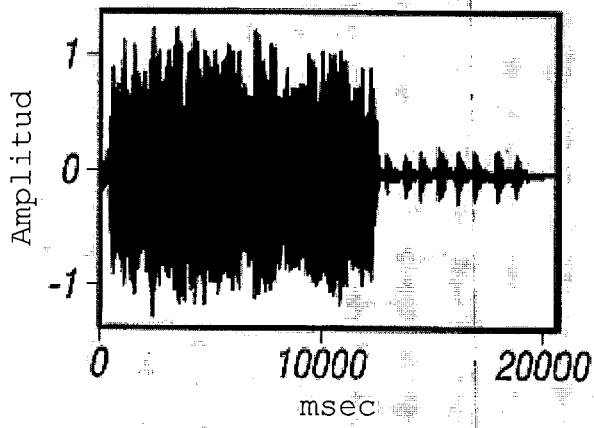


FIG. 12A

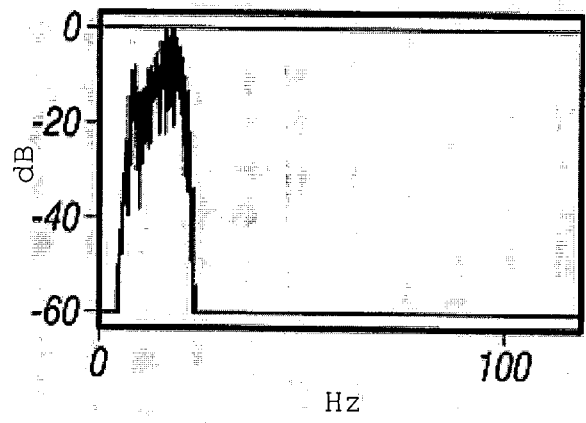


FIG. 12B

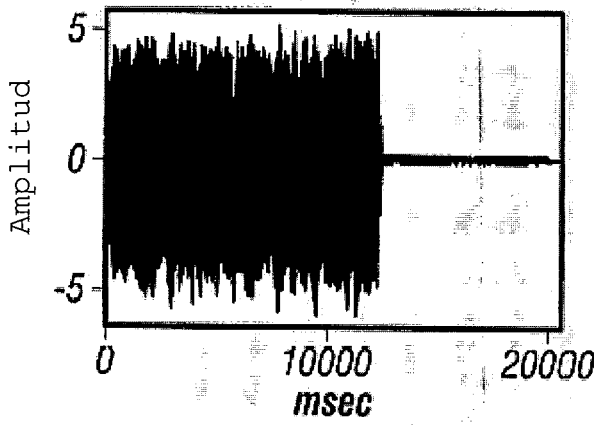


FIG. 13A

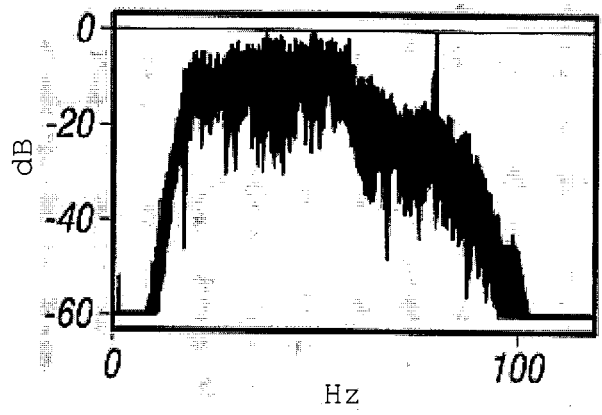


FIG. 13B

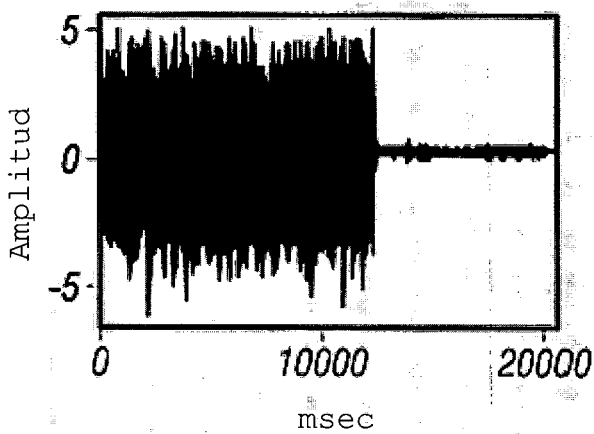


FIG. 14A

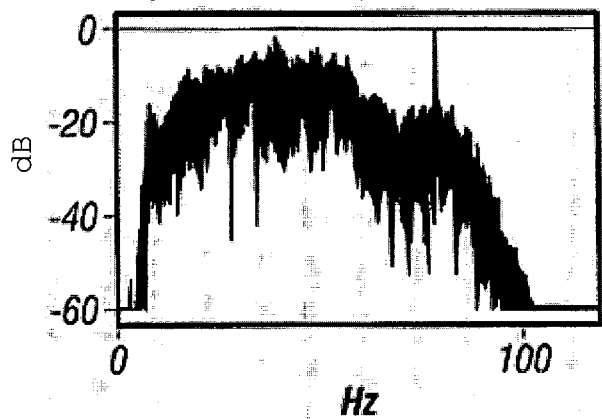


FIG. 14B

11/11

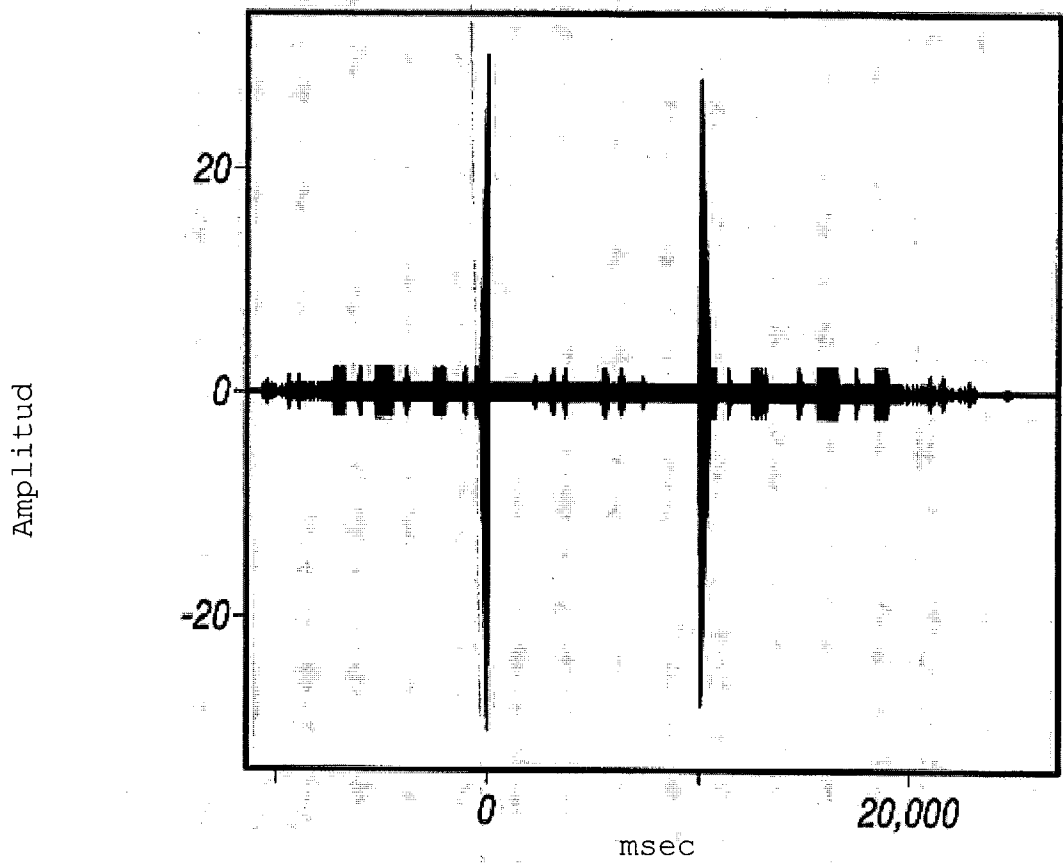


FIG. 15

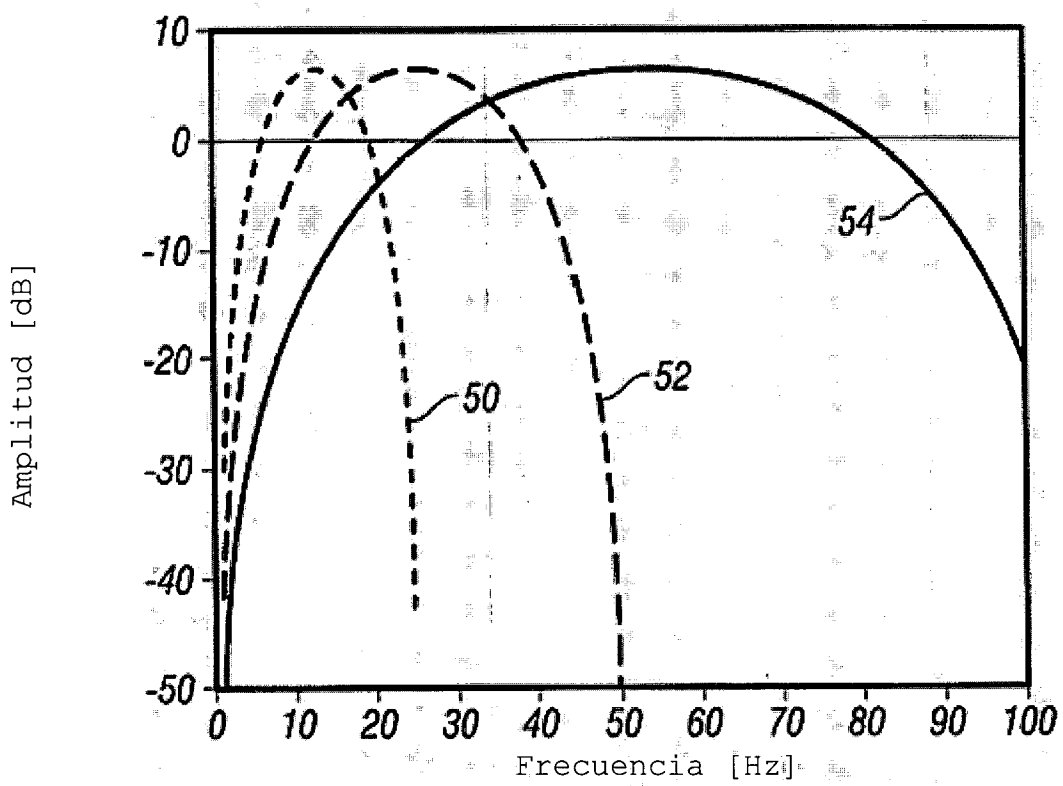


FIG. 16

254

APOSTILLE

(Convention de La Haye du 5 octobre 1961)

1. Country: United States of America

This public document

2. has been signed by P. Swain

3. acting in the capacity of Certifying Officer

4. bears the seal/stamp of U.S. Patent and Trademark Office

Certified

5. at Washington, D.C.

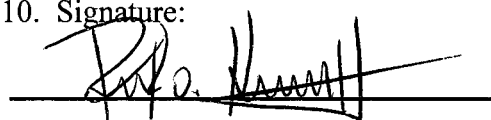
6. the twenty-fourth of August, 2009

7. by Assistant Authentication Officer, United States Department of State

8. No. 09036534-1

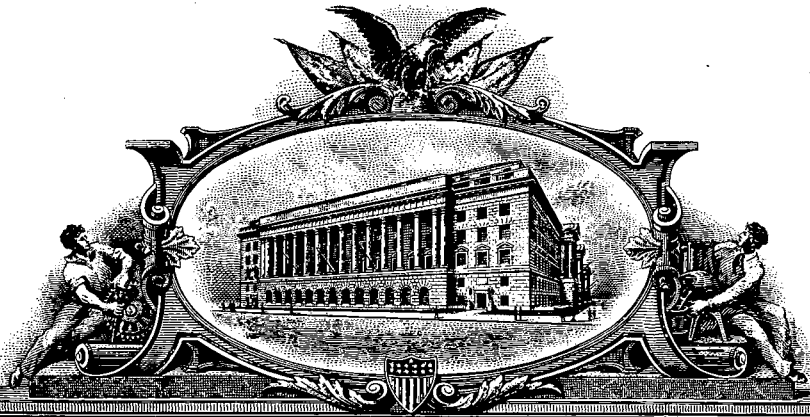
9. Seal/Stamp:

10. Signature:



Patrick O. Hatchett

PA 1766172



THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

August 19, 2009

THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A FILING DATE UNDER 35 USC 111.

APPLICATION NUMBER: 12/291,221

FILING DATE: November 07, 2008

THE COUNTRY CODE AND NUMBER OF YOUR PRIORITY APPLICATION, TO BE USED FOR FILING ABROAD UNDER THE PARIS CONVENTION, IS US12/291,221

**By Authority of the
Under Secretary of Commerce for Intellectual Property
and Director of the United States Patent and Trademark Office**

P. SWAIN

Certifying Officer



U.S. PTO

12/291221

11/07/2008

PTO/SB/05 (07-07)

Approved for use through 06/30/2010. OMB 0651-0032

U.S. Patent and Trademark Office. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

U.S. PTO

UTILITY
PATENT APPLICATION
TRANSMITTAL

(Only for new nonprovisional applications under 37 CFR 1.53(b))

Attorney Docket No.

PGS-08-10US

First Inventor

Stig Rune Lennart Tenganhn

Title

Method for optimizing Energy Outp..

Express Mail Label No.

EQ433380280US

APPLICATION ELEMENTS

See MPEP chapter 600 concerning utility patent application contents.

1. ☒ Fee Transmittal Form (e.g., PTO/SB/17)
(Submit an original and a duplicate for fee processing)
2. ☐ Applicant claims small entity status.
See 37 CFR 1.27.
3. ☒ Specification [Total Pages 26]
Both the claims and abstract must start on a new page
(For information on the preferred arrangement, see MPEP 608.01(a))
4. ☒ Drawing(s) (35 U.S.C. 113) [Total Sheets 11]
5. Oath or Declaration [Total Sheets 3]
a. ☒ Newly executed (original or copy)
b. ☐ A copy from a prior application (37 CFR 1.63(d))
(for continuation/divisional with Box 18 completed)
i. ☐ DELETION OF INVENTOR(S)
Signed statement attached deleting inventor(s)
name in the prior application, see 37 CFR
1.63(d)(2) and 1.33(b).
6. ☐ Application Data Sheet. See 37 CFR 1.76
7. ☐ CD-ROM or CD-R in duplicate, large table or
Computer Program (Appendix)
☐ Landscape Table on CD
8. Nucleotide and/or Amino Acid Sequence Submission
(if applicable, items a. - c. are required)
a. ☐ Computer Readable Form (CRF)
b. Specification Sequence Listing on:
i. ☐ CD-ROM or CD-R (2 copies); or
ii. ☐ Paper
c. ☐ Statements verifying identity of above copies

ADDRESS TO:

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

ACCOMPANYING APPLICATION PARTS

9. ☒ Assignment Papers (cover sheet & document(s))
Name of Assignee PGS Geophysical AS
10. ☐ 37 CFR 3.73(b) Statement
(when there is an assignee) ☒ Power of
Attorney
11. ☐ English Translation Document (if applicable)
12. ☐ Information Disclosure Statement (PTO/SB/08 or PTO-1449)
☐ Copies of citations attached
13. ☐ Preliminary Amendment
14. ☒ Return Receipt Postcard (MPEP 503)
(Should be specifically itemized)
15. ☐ Certified Copy of Priority Document(s)
(if foreign priority is claimed)
16. ☐ Nonpublication Request under 35 U.S.C. 122(b)(2)(B)(i).
Applicant must attach form PTO/SB/35 or equivalent.
17. ☒ Other: Extra copy of Fee Transmittal, Drawings,

Check for Partial Filing Fees

18. If a CONTINUING APPLICATION, check appropriate box, and supply the requisite information below and in the first sentence of the specification following the title, or in an Application Data Sheet under 37 CFR 1.76:

☐ Continuation☐ Divisional☐ Continuation-in-part (CIP)

of prior application No.:

Prior application information:

Examiner

Art Unit:

19. CORRESPONDENCE ADDRESS

☐ The address associated with Customer Number:

OR

☐ Correspondence address below

Name	E. Eugene Thigpen				
Address	P.O. Box 42805				
City	Houston	State	Texas	Zip Code	77242-2805
Country	United States of America	Telephone	281-509-8368	Email	eugene.thigpen@pgs.com

Signature	<u>E. Eugene Thigpen</u>	Date	November 7, 2008
Name (Print/Type)	E. Eugene Thigpen	Registration No. (Attorney/Agent)	27,400

This collection of information is required by 37 CFR 1.53(b). The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.11 and 1.14. This collection is estimated to take 12 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

57

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number

Effective on 12/08/2004.
Fees pursuant to the Consolidated Appropriations Act, 2005 (H.R. 4818).

FEE TRANSMITTAL

For FY 2008

Complete if Known

Application Number
Filing Date November 7, 2008
First Named Inventor Stig Rune Lennart Tenghamn
Examiner Name
Art Unit
Attorney Docket No. PGS-08-10US

☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27

TOTAL AMOUNT OF PAYMENT (\$) 1,130.00

METHOD OF PAYMENT (check all that apply)

☒ Check ☐ Credit Card ☐ Money Order ☐ None ☐ Other (please identify):

☒ Deposit Account Deposit Account Number: 502223 Deposit Account Name:

For the above-identified deposit account, the Director is hereby authorized to: (check all that apply)

☐ Charge fee(s) indicated below ☒ Charge fee(s) indicated below, except for the filing fee
☒ Charge any additional fee(s) or underpayments of fee(s) under 37 CFR 1.16 and 1.17 ☒ Credit any overpayments

WARNING: Information on this form may become public. Credit card information should not be included on this form. Provide credit card information and authorization on PTO-2038.

FEE CALCULATION

1. BASIC FILING, SEARCH, AND EXAMINATION FEES

Application Type	FILING FEES		SEARCH FEES		EXAMINATION FEES		Fees Paid (\$)
	Fee (\$)	Small Entity Fee (\$)	Fee (\$)	Small Entity Fee (\$)	Fee (\$)	Small Entity Fee (\$)	
Utility	310	155	510	255	210	105	1,090.00
Design	210	105	100	50	130	65	
Plant	210	105	310	155	160	80	
Reissue	310	155	510	255	620	310	
Provisional	210	105	0	0	0	0	

2. EXCESS CLAIM FEES

Fee Description	Fee (\$)	Small Entity Fee (\$)
Each claim over 20 (including Reissues)	50	25
Each independent claim over 3 (including Reissues)	210	105
Multiple dependent claims	370	185
Total Claims	Extra Claims	Fee (\$)
16 - 20 or HP = 0 x 0 = 0		
HP = highest number of total claims paid for, if greater than 20.		
Indep. Claims	Extra Claims	Fee (\$)
2 - 3 or HP = 0 x 0 = 0		
HP = highest number of independent claims paid for, if greater than 3.		
		Multiple Dependent Claims
		Fee (\$)
		Fee Paid (\$)

3. APPLICATION SIZE FEE

If the specification and drawings exceed 100 sheets of paper (excluding electronically filed sequence or computer listings under 37 CFR 1.52(e)), the application size fee due is \$260 (\$130 for small entity) for each additional 50 sheets or fraction thereof. See 35 U.S.C. 41(a)(1)(G) and 37 CFR 1.16(s).

Total Sheets Extra Sheets Number of each additional 50 or fraction thereof Fee (\$)

- 100 = / 50 = (round up to a whole number) x = Fee Paid (\$)

4. OTHER FEE(S)

Non-English Specification, \$130 fee (no small entity discount) Fees Paid (\$)
Other (e.g., late filing surcharge): Recordation of Assignment 40.00

SUBMITTED BY

Signature E. Eugene Thigpen Registration No. 27,400 Telephone 281-509-8368
Name (Print/Type) E. Eugene Thigpen Date November 7, 2008

This collection of information is required by 37 CFR 1.136. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 30 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

The PTO did not receive the following listed item(s) a check of \$1130.00 only \$1030.00

58

PGS-08-10US

APPLICATION
FOR
UNITED STATES LETTERS PATENT

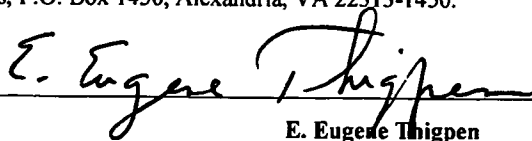
**TITLE: METHOD FOR OPTIMIZING ENERGY OUTPUT OF
FROM A SEISMIC VIBRATOR ARRAY**

INVENTOR: STIG RUNE LENNART TENGHAMN

"EXPRESS MAIL" MAILING LABEL

NUMBER: EQ433380280US
DATE OF DEPOSIT: November 7, 2008

I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the United States Postal Service "EXPRESS MAIL POST OFFICE TO ADDRESSEE" service under 37 C.F.R. 1.10 on the date indicated above and is addressed to: Mail Stop Patent Application, Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.


E. Eugene Thigpen

METHOD FOR OPTIMIZING ENERGY OUTPUT OF FROM A SEISMIC VIBRATOR ARRAY

Cross-reference to related applications

Not applicable.

Statement regarding federally sponsored research or development

Not applicable.

Background of the Invention

Field of the Invention

[0001] This invention relates generally to geophysical exploration and in particular to a vibratory seismic source useful in geophysical exploration. More particularly, the invention relates to methods for using vibrators for marine seismic acquisition.

Background Art

[0002] Seismic energy sources, including vibrators, are used in geophysical exploration on land and in water covered areas of the Earth. Acoustic energy generated by such sources travels downwardly into the Earth, is reflected from reflecting interfaces in the subsurface and is detected by seismic receivers, typically hydrophones or geophones, on or near the Earth's surface or water surface.

[0003] In marine seismic surveying, a seismic energy source such as an air gun or an array of such air guns is towed near the surface of a body of water. An array of seismic receivers, such as hydrophones, is also towed in the water in the vicinity of the array of receivers. At selected times, the air gun or array of guns is actuated to release a burst of high pressure air or gas into the water. The burst of high pressure generates seismic energy for investigating geologic structures in the rock formations below the water bottom.

[0004] In marine seismic surveying , one type of seismic energy source is a vibrator. Generally, a seismic vibrator includes a base plate coupled to the water, a reactive mass, and hydraulic or other devices to cause vibration of the reactive mass and base plate. The vibrations are typically conducted through a range of frequencies in a pattern known as a "sweep" or "chirp." Signals detected by the seismic receivers are cross correlated with a signal from a sensor disposed proximate the base plate. The result of the cross correlation is a seismic signal that approximates what would have been detected by the seismic receivers if an impulsive type seismic energy source had been used. An advantage provided by using vibrators for imparting seismic energy into the subsurface is that the energy is distributed over time, so that effects on the environment are reduced as compared to the environmental effects caused by the use of impulsive sources.

[0005] It is not only the possible environmental benefits of using vibrators, that makes it desirable to adapt seismic vibrators to use in marine seismic surveying. By having a seismic energy source that can generate arbitrary types of signals there may be substantial benefit to using more "intelligent" seismic energy signals than conventional sweeps. Such a seismic energy source would be able to generate signals, have more of the characteristics of background noise and thus be more immune to interference from noise and at the same reduce their environmental impact. A practical limit to using marine vibrators for such sophisticated signal schemes is the structure of marine vibrators known in the art. In order to generate arbitrary signals in the seismic frequency band it is necessary to have a source which has a high efficiency to make the source controllable within the whole seismic frequency band of interest. Combining several marine vibrators that are individually controllable, with more sophisticated signal schemes would make it possible to generate seismic signals from several discrete sources at the same time that have a very low cross correlation, thereby making it possible to increase the efficiency acquiring seismic data. Hydraulic marine vibrators known in the art typically have a resonance frequency that is higher than the upper limit of ordinary seismic frequencies of interest. This means that the vibrator energy efficiency will be very low, principally at low frequencies but generally throughout the seismic frequency band, and such vibrators can be difficult to control with respect to signal type and frequency content. Conventional marine seismic vibrators are also subject to strong harmonic distortion,

which limits the use of more complex signals. Such vibrator characteristics can be understood by examining the impedance for a low frequency vibrator.

[0006] The total impedance that will be experienced by a marine vibrator may be expressed as follows:

$$Z_r = R_r + jX_r \quad (\text{Eq. 1})$$

where: Z_r is the total impedance, R_r is the radiation impedance, and X_r is the reactive impedance.

[0007] In an analysis of the energy transfer of a marine vibrator, the system including the vibrator and the water may be approximated as a baffled piston. The radiation impedance R_r of a baffled piston can be expressed as:

$$R_r = \pi a^2 \rho_0 c R_1(x) \quad (\text{Eq. 2})$$

and the reactive impedance can be expressed as:

$$X_r = \pi a^2 \rho_0 c X_1(x) \quad (\text{Eq. 3})$$

where:

$$x = 2ka = \frac{4\pi a}{\lambda} = \frac{2\omega a}{c} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$R_1(x) = 1 - \frac{2}{x} J_1(x) \quad (\text{Eq. 5})$$

$$X_1(x) = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin(x \cos \alpha) \sin^2 \alpha d\alpha \quad (\text{Eq. 6})$$

in which ρ_0 is the density of water, ω is the angular frequency, k is the wave number, a is the radius of the piston, c is the acoustic velocity, λ is the wave length, and J_1 is a Bessel function of the first order.

[0008] Applying the Taylor series expansion to the above equations provides the expressions:

$$R_1(x) = \frac{x^2}{2^2 1! 2!} - \frac{x^4}{2^4 2! 3!} + \dots \quad (\text{Eq. 7})$$

$$X_1(x) = \frac{4}{\pi} \left[\frac{x}{3} - \frac{x^3}{3^2 \cdot 5} + \frac{x^5}{3^2 \cdot 5^2 \cdot 7} - \dots \right] \quad (\text{Eq. 8})$$

- [0009] For low frequencies, when $x=2ka$ is much smaller than 1, the real and imaginary part of the total impedance expression may be approximated with the first term of the Taylor series expansion. The expressions for low frequencies, when the wave length is much larger then the radius of the piston, become:

$$R_1(x) \rightarrow \frac{1}{2}(ka)^2 \quad (\text{Eq. 9})$$

$$X_1(x) \rightarrow \frac{8ka}{3\pi} \quad (\text{Eq. 10})$$

- [0010] It follows that for low frequencies the radiation impedance R will be small as compared to the reactive impedance X, which suggests low efficiency signal generation. Accordingly, there is a need for efficient marine vibrators that can generate complex signals and there is a need to improve the time efficiency of operating seismic data acquisition to provide more economical operation and to minimize the environmental impact of marine seismic surveying.

Summary of the Invention

- [0011] A method according to one aspect of the invention for generating seismic energy for subsurface surveying includes operating a first seismic vibrator in a body of water and operating at least a second seismic vibrator in the water substantially contemporaneously with the operating the first seismic vibrator. Each has a different selected frequency response, and the vibrators each are operated at a water depth such that a surface ghost amplifies a downward output of each vibrator within a selected frequency range.
- [0012] A method for marine seismic surveying according to another aspect of the invention includes operating a seismic vibrator array in a body of water. The array includes a plurality of seismic vibrators each having a different selected frequency response. The vibrators are each operated at a water depth such that a surface ghost amplifies a downward output of each vibrator within a selected frequency range. A signal used to drive each vibrator has a frequency range corresponding to the respective vibrator. The method includes detecting seismic signals originating from the array at each of a plurality of seismic receivers disposed at spaced apart locations.

- [0013] Other aspects and advantages of the invention will be apparent from the description and the claims that follow.

Brief Description of the Drawings

- [0014] FIG. 1 shows an example marine seismic survey being conducted using a plurality of seismic energy sources.
- [0015] FIG. 1A shows an example implementation of a seismic vibrator signal generator.
- [0016] FIG. 1B shows an example signal detection device coupled to a seismic receiver.
- [0017] FIG. 2 shows an example structure for a conventional hydraulic seismic vibrator.
- [0018] FIG. 3 shows an example structure for an electrical seismic vibrator.
- [0019] FIG. 4 shows another example vibrator in cross-section.
- [0020] FIG. 5 shows another example vibrator in cross-section.
- [0021] FIG. 6 shows a simulated amplitude spectrum with two resonances.
- [0022] FIG. 7 is an example autocorrelation function for one type of direct sequence spread spectrum signal.
- [0023] FIG. 8 is an example of a direct sequence spread spectrum (DSSS) code.
- [0024] FIG. 9 is a graph of frequency content of a seismic source driver using a signal coded according to FIG. 8.
- [0025] FIG. 10 is an example spread spectrum code using biphase modulation.
- [0026] FIG. 11 is a graph of the frequency content of a seismic source driver using a signal coded according to FIG. 10.
- [0027] FIGS. 12A and 12B show, respectively, a DSSS signal and response of a low frequency vibrator to the DSSS driver signal.
- [0028] FIGS. 13A and 13B show, respectively, a DSSS signal and response of a higher frequency vibrator than that shown in FIG. 12B to the DSSS driver signal.

- [0029] FIGS. 14A and 14B show, respectively, combined DSSS signals and output of the two vibrators as shown in FIGS. 12A, 12B, 13A and 13B.
- [0030] FIG. 15 shows an autocorrelation of the sum of the signals in FIGS. 13A and 14A.
- [0031] FIG. 16 shows an example frequency spectrum of three vibrator sources each operated at a different depth in the water.

Detailed Description

- [0032] The invention is related to methods for using a plurality of marine vibrators. The marine vibrators used with methods according to the invention each preferably have at least two resonant frequencies within a selected seismic frequency range, and each of the vibrators in the array preferably has a different frequency range than the other vibrators. In methods according to the invention, the resonant frequency range and an operating depth in the water of each vibrator are selected so that the output of each vibrator is amplified by the effect of energy reflection from the water surface (the "surface ghost"). By operating a plurality of such vibrators at such depths, it is possible to obtain additional seismic energy within substantially the entire seismic frequency range of interest than would be possible using a single vibrator, or a plurality of vibrators that are not configured and operated as described herein. In some examples, particular types of vibrator driver signals may be used to increase the effective frequency range of the acoustic energy emitted by the respective vibrators.
- [0033] The description which follows includes first a description of a particular type of marine vibrator that may be used advantageously with methods according to the invention. Such description will be followed by explanation of the particular types of driver signals that may be used to increase the frequency range. Finally, the description concludes with an explanation of selecting vibrators with selected frequency ranges and operating such vibrators at selected water depths.
- [0034] An example of marine seismic surveying using a plurality of marine vibrator seismic energy sources is shown schematically in FIG. 1. A seismic survey recording vessel RV is shown moving along the surface of a body of water W such as a lake or the

ocean. The seismic survey recording vessel RV typically includes equipment, shown at RS and referred to for convenience as a "recording system" that at selected times actuates one or more seismic energy sources 10, determines geodetic position of the various components of the seismic acquisition system, and records signals detected by each of a plurality of seismic receivers R.

[0035] The seismic receivers R are typically deployed at spaced apart locations along one or more streamer cables S towed in a selected pattern in the water W by the recording vessel RV (and/or by another vessel). The pattern is maintained by certain towing equipment TE including devices called "paravanes" that provide lateral force to spread the components of the towing equipment TE to selected lateral positions with respect to the recording vessel RV. The configuration of towing equipment TE, paravanes P and streamer cables S is provided to illustrate the principle of acquiring seismic signals according to some aspects of the invention and is not in any way intended to limit the types of recording devices that may be used, their manner of deployment in the water or the number of and type of such components.

[0036] The recording vessel RV may tow a seismic vibrator 10. In the example of FIG. 1, additional seismic vibrators 10 may be towed at selected relative positions with respect to the recording vessel RV by source vessels SV. The purpose of providing the additional vibrators 10 towed by source vessels SV is to increase the coverage of the subsurface provided by the signals detected by the seismic receivers R. The numbers of such additional vibrators 10 and their relative positions as shown in FIG. 1 are not intended to limit the scope of the invention.

[0037] In some examples, as will be further explained with reference to FIG. 16, a plurality of vibrators each having a different frequency range may be operated with each such vibrator at a depth corresponding to the frequency range of the vibrator.

[0038] FIG 2 shows an example of a conventional hydraulic marine vibrator. Hydraulic oil feed is shown at 35 and the oil return is shown at 36. A piston (base plate) 31 generates an acoustic pressure wave and is disposed inside a bell housing (reactive mass) 38. Air 32 is disposed between the piston 31 and the bell housing 38. Motion of the piston 31 is regulated with a servo valve 34. An accelerometer 33 is used to provide a

feedback or pilot signal. Isolation mounts 37 are mounted on the bell housing 38 to reduce vibrations in the handling system (not shown) used to deploy the vibrator. Due to the rigid design of the vibrator, the first resonance frequency of such a vibrator is typically above the upper limit of the seismic frequency band, and such vibrator will have low efficiency at typical seismic frequencies.

[0039] FIG 3 shows an example of a different type of marine vibrator that can be used in accordance with the invention. The marine vibrator 10 comprises a vibrator source 20 mounted within a frame 16. A bracket 14 is connected to the top of the frame 16 and includes apertures 24 which may be used for deploying the vibrator 10 into the water.

[0040] FIG. 4 shows an example of the vibrator in partial cross-section, which includes a driver 8, which may be a magnetostrictive driver, and which may in some examples be formed from an alloy made from terbium, dysprosium and iron. Such alloy may have the formula $Tb(0.3) Dy(0.7) Fe(1.9)$, such formulation being known commercially as Terfenol-D. Although the particular example vibrator described herein shows only a single driver, an implementation in which a plurality of drivers are used is within the scope of the invention. The present example further includes an outer driver spring 3 connected to each end 13 of the driver 8. In a particular implementation, the driver spring 3 may have an elliptical shape. In the present example in which the driver 8 comprises Terfenol-D, the driver 8 further comprises magnetic circuitry (not specifically shown) that will generate a magnetic field when electrical current is applied thereto. The magnetic field will cause the Terfenol-D material to elongate. By varying the magnitude of the electrical current, and consequently the magnitude of the magnetic field, the length of the driver 8 is varied. Typically, permanent magnets are utilized to apply a bias magnetic field to the Terfenol-D material, and variation in the magnetic field is generated by applying a varying electrical current to the electrical coils (not shown) that are formed around the Terfenol-D material. Variations in the length of the driver 8 cause a corresponding change in the dimensions of the outer driver spring 3.

[0041] FIG. 4 shows additional vibrator components including an inner spring 4, with masses 7 attached thereto. As further discussed below, the inner driver spring 4 with masses 7 attached thereto can be included to provide a second system resonance

frequency within the seismic frequency range of interest. Although a vibrator system that included only the outer spring 3 would typically display a second resonance frequency, for systems having a size suitable for use in marine geophysical exploration, the second resonance frequency in such case would be much higher than the frequencies within the seismic frequency range of interest (typically from 0 to 300 Hz).

[0042] Mounting brackets 28, shown in FIG. 4, are fixedly connected at the upper and lower ends thereof to upper and lower end plates 18 (shown in FIG. 3). The driver 8 is fixedly connected at a longitudinally central location thereof to the mounting brackets 28, to maintain a stable reference point for driver 8. The movement of the ends 13 of the driver rod is unrestricted with respect to the mounting brackets 28.

[0043] The example shown in FIG. 4 further includes an outer shell 2, to which the outer spring 3 is connected through transmission elements 5. The form of the shell 2 is generally referred to as flextensional. In a particular implementation, the outer shell 2 comprises two side portions that may be substantially mirror images of each other, and includes two end beams 1, with the side portions of the shell 2 being hingedly connected to the end beams 1 by hinges 6. FIG. 4 shows one of the side portions of the outer shell 2, denoted as shell side portion 2a. When fully assembled the second shell side portion (not shown in FIG. 4), comprising substantially a mirror image of shell side portion 2a will be hingedly connected by hinges 6 to end beams 1, to complete a flextensional shell surrounding the assembled driver 8, outer spring 3 and inner spring 4.

[0044] FIG 5 shows a cross section of the assembly in FIG. 4 mounted in the marine vibrator 10.

[0045] With reference to FIG. 3 the marine vibrator 10 further comprises top and bottom end plates 18. The assembled outer shell 2, comprising the two shell side portions and the two end beams 1 are sealingly attached to the top and bottom end plates 18. Although the outer shell 2 is sealingly engaged with the top and bottom end plates 18, when the marine vibrator 10 is in operation, the outer shell 2 will enable movement with respect to the end plates 18, so the connection between the end plates 18 and the outer shell 2 will be a flexible connection, that might be provided, for example, by a flexible membrane 22 (not shown in detail).

[0046] FIG. 6 shows the results from a finite element simulation of an example of the vibrator. A first resonance frequency 11 results substantially from interaction of the outer spring 3 and the driver. A second resonance frequency 12 results substantially from the interaction of the inner driver spring 4 with its added masses 7 and the driver 8.

[0047] The outer driver spring 3 and the inner driver spring 4 shown in the figures could be different types of springs than those shown. For example, the springs might be coiled springs or other type of springs that perform substantially similarly. Essentially, the springs 3 and 4 are biasing devices that provide a force related to an amount of displacement of the biasing device. Similarly, the outer spring 3 and inner driver spring 4 might use a diaphragm, a piston in a sealed cylinder or a hydraulic cylinder to achieve the substantially the same result.

[0048] By introducing a resonance in the lower end of the seismic frequency spectrum, low frequency acoustic energy may be generated more efficiently. At resonance the imaginary (reactive) part of the impedance is substantially cancelled, and the acoustic source is able to efficiently transmit acoustic energy into the water. In constructing any specific implementation of the marine vibrator, finite element analysis may be used, as is known to those skilled in the art, to determine the first and second resonance frequencies. In any such analysis, the following principles of operation are relevant. If the outer shell is approximated as a piston, then, for low frequencies, the mass load, or the equivalent fluid mass acting on the shell can be expressed as

$$M = \rho_0 \frac{8a^3}{3} \quad (\text{Eq. 11})$$

where, M is the mass load, ρ_0 is density of water, and a is the equivalent radius for a piston which corresponds to the size of outer shell.

[0049] The outer shell 2 has a transformation factor T_{shell} between the long and short axis of its ellipse, so that the deflection of the two shell side portions (side portion 2a in FIG. 4 and its mirror image on the other side of outer shell 2) will have a higher amplitude than the deflection of end beams 1 (which interconnects the two side portions of shell 2) caused by movement of transmission element 5. Further, the outer spring 3 creates a larger mass load on the driver 8 since the outer spring 3 also has a transformation factor

between the long axis and short axis of its ellipse, with the long axis being substantially the length of the driver 8 and the short axis being the width of the elliptically shaped spring. Referring to this transformation factor as T_{spring} , the mass load on the driver 8 will be expressed as:

$$M_{driver} = (T_{shell})^2 \cdot (T_{spring})^2 \cdot \rho_0 \frac{8a^3}{3} . \quad (\text{Eq. 12})$$

[0050] The first resonance, $f_{resonance}$, for the vibrator will be substantially determined by the following mass spring relationship:

$$f_{resonance} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M_{driver}}} \quad (\text{Eq. 13}) \text{ where}$$

K = spring constant, and M_{outer} = mass load on the driver 8.

[0051] K represents the spring constant for the outer spring 3 combined with the drive 8, where the outer spring 3 is connected to the outer shell 2, through the transmission elements 5, end beam 1 and hinges 6.

[0052] To provide efficient energy transmission with the seismic frequency range of interest, it is important to have the vibrator configured to have a second resonance frequency within the seismic frequency range of interest. In the absence of the inner spring, the second resonance frequency would occur when the outer driver spring 3, acting together with driver 8, has its second Eigen-mode. This resonance frequency, however, is normally much higher than the first resonance frequency, and accordingly, would be outside the seismic frequency range of interest. As is evident from the foregoing equation, the resonant frequency will be reduced if the mass load on outer spring 3 is increased. This mass load could be increased by adding mass to driver 8, however, in order to add sufficient mass to achieve a second resonance frequency within the seismic frequency range of interest, the amount of mass that would need to be added to the driver would make such a system impractical for use in marine seismic operations. In a practical example vibrator, a second spring, the inner driver spring 4, is included inside the outer driver spring 3 with added masses 7 on the side of the inner spring 3. The effect of such added mass is equivalent to adding mass in the end of the driver 8.

$$M_{inner} = (T_{inner})^2 \cdot M_{added} \quad (\text{Eq. 14})$$

[0053] The extra spring, i.e., the inner driver spring 4, will have a transformation factor T_{inner} as well, and will add to the mass load on the driver 8. Use of the inner spring 4, with the added mass, allows the second resonance of the system to be tuned so that the second resonance is within the seismic frequency range of interest, thereby improving the efficiency of the vibrator in the seismic frequency band. The second resonance may be determined by the expression:

$$f_{resonance2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{inner} + K_{driver}}{(T_{inner})^2 \cdot M_{added}}} \quad (\text{Eq. 15})$$

in which K_{inner} = spring constant of inner spring and K_{driver} = spring constant of outer driver assembly.

[0054] A possible advantage of using a driver structure as explained herein is that the multiple resonant frequencies may provide a broader bandwidth response than is possible using single resonance vibrator structures. A particular advantage of using a vibrator having an electrically operated energizing element (driver) is that the vibrator response to an input control signal will be more linear. Such may make possible the use of particular types of driver signals to be explained below.

[0055] In using the system shown in FIG. 1, it may be advantageous to use more than one of the seismic vibrators 10 substantially contemporaneously or even simultaneously in order to increase the efficiency with which seismic signals related to subsurface formations (below the water bottom) may be obtained. Seismic signals detected by each of the receivers R in such circumstances will result in seismic energy being detected that results from each of the vibrators 10 actually in operation at the time of signal recording.

[0056] In some examples, the driver signal used to operate each of the vibrators may have a frequency range that corresponds to the frequency range of the particular vibrator. Using such corresponding driver signals, the acoustic output of each vibrator may be optimized. Such driver signals may include "sweeps" or "chirps" known in the art for driving seismic vibrators.

31

[0057] In other examples, operating the vibrators contemporaneously can include driving each vibrator with a signal that is substantially uncorrelated with the signal used to drive each of the other vibrators. By using such driver signals to operate each of the vibrators, it is possible to determine that portion of the detected seismic signals that originated at each of the seismic vibrators. A type of driver signal to operate the marine vibrators in such examples is known as a "direct sequence spread spectrum" signal. Direct sequence spread spectrum signal ("DSSS") generation uses a modulated, coded signal with a "chip" frequency selected to determine the frequency content (bandwidth) of the transmitted signal. A "chip" means a pulse shaped bit of the direct sequence coded signal. Direct sequence spread spectrum signals also can be configured by appropriate selection of the chip frequency and the waveform of a baseband signal so that the resulting DSSS signal has spectral characteristics similar to background noise. The foregoing may make DSSS signals particularly suitable for use in environmentally sensitive areas.

[0058] An example implementation of a signal generator to create particular types of vibrator signals used in the invention is shown schematically in FIG. 1A. A local oscillator 30 generates a baseband carrier signal. In one example, the baseband carrier signal may be a selected duration pulse of direct current, or continuous direct current. In other examples, the baseband signal may be a sweep or chirp as used in conventional vibrator-source seismic surveying, for example traversing a range of 10 to 150 Hz. A pseudo random number ("PRN") generator or code generator 32 generates a sequence of numbers +1 and -1 according to certain types of encoding schemes as will be explained below. The PRN generator 32 output and the local oscillator 30 output are mixed in a modulator 34. Output of the modulator 34 is conducted to a power amplifier 36, the output of which ultimately operates one of the seismic vibrators 10. A similar configuration may be used to operate each of a plurality of vibrators such as shown in FIG. 1.

[0059] Signals generated by the device shown in FIG. 1A can be detected using a device such as shown in FIG. 1B. Each of the seismic receivers R may be coupled to a preamplifier 38, either directly or through a suitable multiplexer (not shown). Output of

the preamplifier 38 may be digitized in an analog to digital converter ("ADC") 40. A modulator 42 mixes the signal output from the ADC 40 with the identical code produced by the PRN generator 32. As will be explained below, the signal generating device shown in FIG. 1A, and its corresponding signal detection device shown in FIG. 1B generate and detect a DSSS.

[0060] The theoretical explanation of DSSS signal generation and detection may be understood as follows. The DSSS signal, represented by u_i , can be generated by using a spectrum "spreading code", represented by c_i and generated, for example, by the PRN generator (32 in FIG. 1A), to modulate a baseband carrier. A baseband carrier can be generated, for example, by the local oscillator (30 in FIG. 1A). The baseband carrier has a waveform represented by $\psi(t)$. The spreading code has individual elements c_{ij} (called "chips") each of which has the value +1 or -1 when $0 \leq j < N$ and 0 for all other values of j . If a suitably programmed PRN generator is used, the code will repeat itself after a selected number of chips. N is the length (the number of chips) of the code before repetition takes place. The baseband carrier is preferably centered in time at $t=0$ and its amplitude is normalized so that at time zero the baseband carrier amplitude is equal to unity, or ($\psi(0)=1$). The time of occurrence of each chip i within the spreading code may be represented by T_c . The signal used to drive each vibrator may thus be defined by the expression:

$$u_i(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_i^j \psi(t - jT_c) \quad (\text{Eq. 16})$$

The waveform $u_i(t)$ is deterministic, so that its autocorrelation function is defined by the expression:

$$R_u(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u(t-\tau)dt \quad (\text{Eq. 17})$$

where τ is the time delay between correlated signals. The discrete periodic autocorrelation function for $a = a_j$ is defined by

$$R_{a,a}(l) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{N-1-l} a_j a_{j+l}, & 0 \leq l \leq N-1 \\ \sum_{j=0}^{N-1+l} a_{j-l} a_j, & 1-N \leq l < 0 \\ 0, & |l| \geq N \end{cases} \quad (\text{Eq. 18})$$

Using a formula similar to Eq. 17 it is possible to determine the cross correlation between two different signals by the expression:

$$R_{u,u'}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) u'(t - \tau) dt \quad (\text{Eq. 19})$$

The discrete periodic cross correlation function for $a = a_j$ and $b = b_j$, is defined by the expression:

$$R_{a,b}(l) = \begin{cases} \sum_{j=0}^{N-1-l} a_j b_{j+l}, & 0 \leq l \leq N-1 \\ \sum_{j=0}^{N-1+l} a_{j-l} b_j, & 1-N \leq l < 0 \\ 0, & |l| \geq N \end{cases} \quad (\text{Eq. 20})$$

[0061] The signal detected by the receivers (R in FIG. 1) will include seismic energy originating from the one of the vibrators for which seismic information is to be obtained, as well as several types of interference, such as background noise, represented by $n(t)$, and from energy originating from the other vibrators transmitting at the same time, but with different direct sequence spread spectrum codes (represented by $c_k(t)$ wherein $k \neq i$). The received signal at each receiver, represented by $x_i(t)$, that is, the signal detected by each of the receivers (R in FIG. 1) in a system with M seismic vibrators operating at the same time, can be described by the expression:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^M u_j(t) + n(t) \quad (\text{Eq. 21})$$

[0062] The energy from each vibrator will penetrate the subsurface geological formations below the water bottom, and reflected signals from the subsurface will be detected at the

receivers after a "two way" travel time depending on the positions of the vibrators and receivers and the seismic velocity distribution in the water and in the subsurface below the water bottom. If the transmitted vibrator signal for direct sequence spread spectrum code i occurs at time $t = t_0$, then the received signal resulting therefrom occurs at time $t = \tau_k + l_k T_c + t_0$ after the transmission, wherein l_k = any number being an integer and τ_k = the misalignment between the received signal and the chip time T_c . The received signal can be mixed with the identical spreading code used to produce each vibrator's output signal, $u_i(t_0)$, as shown in FIG. 1B. Such mixing will provide a signal that can be correlated to the signal used to drive each particular vibrator. The mixing output can be used to determine the seismic response of the signals originating from each respective vibrator. The foregoing may be expressed as follows for the detected signals:

$$\begin{aligned}
 y_i(\tau_i + l_i T_c + t_0) &= u_i(t_0) x_i(\tau_i + l_i T_c + t_0) = u_i(0) x_i(\tau_i + l_i T_c) \\
 &= u_i(0) \left(\sum_{k=1}^K u_k(\tau_k + l_k T_c) + n(t) \right) \\
 &= u_i(\tau + l_i T_c) u_i(0) \\
 &\quad + \sum_{k=1, k \neq i}^M u_k(\tau_k + l_k T_c) u_i(0) + u_i(t) n(t)
 \end{aligned} \tag{Eq. 22}$$

[0063] Mixing (FIG. 1B) the detected signal with the spreading code results in a correlation. The result of the correlation is:

$$\begin{aligned}
 R_{y u_i}(\tau_i + l_i T_c) &= \sum_{j=0}^{N-1} \psi(0) \psi(\tau_i) c_i^j c_i^{j+l_i} \\
 &\quad + \sum_{j=0}^{N-1} \left[\psi(0) \sum_{k=1, k \neq i}^M \psi(\tau_k) c_i^j c_k^{j+l_k} \right] + u_i(t) n(t)
 \end{aligned} \tag{Eq. 23}$$

[0064] Simplification of the above expressions provides the following result:

$$\begin{aligned}
R_{y u_i}(\tau_i + l_i T_c) &= d_i \psi(0) \psi(\tau_i) \sum_{j=0}^{N-l_i-1} c_i^j c_i^{j+l_i} \\
&\quad + \psi(0) \sum_{k=1, k \neq i}^M \left[\sum_{j=0}^{N-l_k-1} \psi(\tau_k) c_i^j c_k^{j+l_k} \right] + u_i(t) n(t) \\
&= \psi(0) \psi(\tau_i) R_{u_i u_i}(l_i) \\
&\quad + \psi(0) \sum_{k=1, k \neq i}^M \left[\psi(\tau_k) R_{u_i u_j}(l_k) \right] + u_i(t) n(t)
\end{aligned} \tag{Eq. 24}$$

[0065] If $R(0)=N$ and $\psi(0)=1$, the foregoing expression simplifies to:

$$\begin{aligned}
R_{y u_i}(0) &= \psi(0)^2 R_{u_i u_i}(0) + \psi(0) \sum_{k=1, k \neq i}^M \left[\psi(\tau_k) R_{u_i u_j}(l_k) \right] + u_i(t) n(t) \\
&= \underbrace{N}_{\text{data}} + \underbrace{\sum_{k=1, k \neq i}^M \left[\psi(\tau_k) R_{u_i u_j}(l_k) \right]}_{\text{cross_correlations}} + \underbrace{u_i(t) n(t)}_{\text{background_noise}}
\end{aligned} \tag{Eq. 25}$$

[0066] Equation (25) shows that it is possible to separate the direct spread spectrum sequence signals corresponding to each spreading code from a signal having components from a plurality of spreading codes. N in essence represents the autocorrelation of the transmitted signal, and by using substantially orthogonal or uncorrelated spread spectrum signals to drive each marine vibrator, the cross correlation between them will be very small compared to N . Another possible advantage is that any noise which appears during a part of the time interval when the seismic signals are recorded will be averaged out for the whole record length and thereby attenuated, as may be inferred from Eq. 25.

[0067] In a practical implementation, a seismic response of the subsurface to imparted seismic energy from each of the vibrators may be determined by cross correlation of the detected seismic signals with the signal used to drive each vibrator, wherein the cross correlation includes a range of selected time delays, typically from zero to an expected maximum two way seismic energy travel time for formations of interest in the subsurface (usually about 5 to 6 seconds). Output of the cross correlation may be stored and/or presented in a seismic trace format, with cross correlation amplitude as a function of time delay.

[0068] The baseband carrier has two properties that may be optimized. The baseband carrier should be selected to provide the vibrator output with suitable frequency content and an autocorrelation that has a well defined correlation peak. Equation (25) also shows that the length of the direct spread spectrum sequence will affect the signal to noise ratio of the vibrator signal. The correlation peaks resulting from the cross correlation performed as explained above will increase linearly with the length of (the number of chips) the spreading code. Larger N (longer sequences) will improve the signal to noise properties of the vibrator signal.

[0069] Using appropriately selected spreading code sequences it is possible to generate seismic signals that approximate background noise in spectral statistics. Some useful sequences that can be used for a plurality of seismic vibrators are discussed below.

[0070] "Maximum length" sequences are a type of cyclic code that are generated using a linear shift register which has m stages connected in series, with the output of certain stages added modulo-2 and fed back to the input of the shift register. The name "maximum length" sequence derives from the fact that such sequence is the longest sequence that can be generated using a shift register. Mathematically the sequence can be expressed by the polynomial $h(x)$

$$[0071] \quad h(x) = h_0 x^m + h_1 x_{m-1} + \dots + h_{n-1} x + h_n \quad (\text{Eq. 26})$$

[0072] For $1 \leq j < m$, then $h_j = 1$ if there is feedback at the j -th stage, and $h_j = 0$ if there is no feedback at j -th stage. $h_0 = h_m = 1$. Which stage h_j that should be set to one or zero is not random but should be selected so that $h(x)$ becomes a primitive polynomial. "Primitive" means that the polynomial $h(x)$ cannot be factored. The number of chips for a maximum length sequence is given by the expression $N = 2^m - 1$, where m represents the number of stages in the shift register. The maximum length sequence has one more "1" than "0." For a 511 chip sequence, for example, there are 256 ones and 255 zeros.

[0073] Another type of sequence that may be used is the Gold sequence. The structure of Gold sequences is described in, R. Gold, *Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing*, IEEE Trans. Information Theory, vol. IT-13, pp. 619-621 (1967). Gold sequences have good cross correlation characteristics suitable for use when more than

one vibrator is used at the same time. Gold sequences are generated using two or more maximum length sequences. It is possible to generate $N+2$ Gold-sequences from maximum length sequences, where N is the sequence length. Gold-sequences have the period $N = 2^m - 1$ and exist for all integers m that are not a multiple of 4. A possible drawback of Gold sequences is that the autocorrelation is not as good as for maximum length sequences.

[0074] Kasami sequence sets may be used in some examples because they have very low cross correlation. There are two different sets of Kasami sequences. A procedure similar to that used for generating Gold sequences will generate the "small set" of Kasami sequences with $M = 2^{n/2}$ binary sequences of period $N = 2^n - 1$, where n is an even integer. Such procedure begin with a maximum length sequence, designated a , and forming the sequence a' by decimating a by $2^{n/2} + 1$. It can be shown that the resulting sequence a' is a maximum sequence with period $2^{n/2} - 1$. For example, if $n = 10$, the period of a is $N = 1023$ and the period of a' is 31. Therefore, by observing 1023 bits of the sequence a' , one will observe 33 repetitions of the 31-bit sequence. Then, by taking $N = 2^n - 1$ bits of sequences a and a' it is possible to form a new set of sequences by adding, modulo-2, the bits from a and the bits from a' and all $2^{n/2} - 2$ cyclic shifts of the bits from a' . By including a in the set, a result is a set of $2^{n/2}$ binary sequences of length $N = 2^n - 1$. The autocorrelation and cross-correlation functions of these sequences take on the values from the set $\{-1, -(2^{n/2} + 1), 2^{n/2} - 1\}$. The "large set" of Kasami sequences again consists of sequences of period $2^n - 1$, for n being an even integer, and contains both the Gold sequences and the small set of Kasami sequences as subsets. See, for example, *Spreading Codes for Direct Sequence CDMA and Wideband CDMA Cellular Networks*, IEEE Communications Magazine, Sept. 1998.

[0075] In implementing spreading codes to generate a driver signal for the vibrators, it may be preferable to use biphase modulation to generate the chips in the code. Referring to FIG. 8, an example spreading code is shown wherein a change in polarity from +1 to -1 represents the number -1, and the reverse polarity change represents the number +1. The signal spectrum generated by the above spreading code is shown in FIG. 9. What is apparent from FIG. 9 is that a substantial signal amplitude exists at DC (zero frequency).

Such signal spectrum is generally not suitable for seismic signal generation. If the modulation used is biphase, however, the signal amplitude at zero frequency is substantially zero. The same spreading code shown in FIG. 8 implemented using biphase modulation is shown in FIG. 10. Biphase modulation can be implemented by having every bit of the original input signal (chips in the spreading code) represented as two logical states which, together, form an output bit. Every logical "+1" in the input can be represented, for example, as two different bits (10 or 01) in the output bit. Every input logical "-1" can be represented, for example, as two equal bits (00 or 11) in the output. Thus, every logical level at the start of a bit cell is an inversion of the level at the end of the previous cell. In biphase modulation output, the logical +1 and -1 are represented with the same voltage amplitude but opposite polarities. The signal spectrum of the spreading code shown in FIG. 10 is shown in FIG. 11. The signal amplitude at zero frequency is very small (below -50 dB), thus making such code more suitable for seismic energy generation.

[0076] An example of a low frequency DSSS code used to drive a suitably configured vibrator is shown in FIG. 12A. The DSSS code may be configured to provide a selected frequency output by suitable selection of the chip rate. A spectrum of energy output of a suitably configured vibrator using the code of FIG. 12A is shown in corresponding FIG. 12B. FIG. 13A shows a DSSS code used to drive a higher frequency configured vibrator. Responses of the vibrator (signal output spectrum) of such vibrator to the DSS code of FIG. 13A is shown in FIG. 13B. Both seismic signals are effectively summed. After detection of the signals from each such vibrator in the received seismic signals as explained above, the detected signals may be summed. The combined DSSS signals are shown in FIG. 14A, and the combined vibrator output spectrum is shown in FIG. 14B. An autocorrelation of the summed signals is shown in FIG. 15 indicating two distinct correlation peaks, one for each DSSS code. The various vibrators may each be operated at a selected depth in the water corresponding to the frequency range of each vibrator.

[0077] As explained at the beginning of the present description, in some examples, more than one vibrator may be used at any particular location in the water, for example, as shown in FIG. 1 at 10 being towed by the seismic survey vessel, and as shown at 10

being towed by one or more source vessels. In such multiple vibrator configurations, each of the vibrators shown at 10 in FIG. 1 may be substituted by two or more marine seismic vibrators (a vibrator "array") made as described herein with reference to FIGS. 3 through 6. In the present example, each such vibrator array at each individual location has two or more vibrators each having a different frequency response. Frequency response of the particular vibrator may be determined, for example as explained above with reference to FIGS. 3, 4 and 5, by suitable selection of the mass of the outer shell, additional masses, and the rates of the inner and outer springs.

[0078] Generally, marine seismic surveying uses a source frequency range of about 1-100 Hz. In some examples, a vibrator array may include a low frequency range vibrator to generate a low frequency part of the seismic signal e.g., (3-25 Hz) and another, higher frequency range vibrator to generate higher frequency seismic energy (e.g., 25-100 Hz). As explained above, the disclosed type of marine vibrator may have two or more resonance frequencies within the seismic frequency band. To be able to obtain high efficiency from each of the vibrators in the array the vibrators may each be configured to have a high efficiency response within only a selected portion of the seismic frequency range of interest. Using a plurality of vibrators each having a relatively narrow but different frequency response range will ensure more efficient operation of each vibrator in the array of vibrators. In a specific example, it is possible to tow each of the vibrators in the array at different selected depths to improve the acoustic output of the array.

[0079] Further, as explained above, it is also possible to drive each of the vibrators in an array with a driver signal having a corresponding frequency range. By driving each vibrator with a driver signal having a frequency range corresponding to the frequency range of the vibrator, it is possible to optimize output of each vibrator in the array.

[0080] As an example, an array of vibrators includes three vibrators made as explained with reference to FIGS. 3 through 5 each operating in the following frequency ranges:

Vibrator 1: 5-15 Hz

Vibrator 2: 15-45 Hz

Vibrator 3: 45-120 Hz

[0081] In the present example, each vibrator is towed at a depth such that the amplitude of the seismic energy propagating in a downward direction (toward the water bottom) from each vibrator is amplified by the effect of reflection of seismic energy from the water surface (i.e., the source ghost). By towing the vibrators at such depths it may be possible to achieve up to 6 dB improvement in the output of the array due to the surface ghost. An example response of a three vibrator array with appropriately selected vibrator depths is shown graphically in FIG. 16. The curves in FIG. 16 represent the output of the above three vibrators towed at 30 meters, 15 meters and 7 meters, respectively shown at 50, 52 and 54 in FIG. 16. What may be observed in FIG. 16 is that by using marine vibrators having appropriately selected frequency response, and by appropriate selection of the operating depth of each such vibrator, it is possible to use the surface ghost to amplify the energy propagating in a downward direction from each vibrator in the array.

[0082] In order to cause the output of the vibrators in each array to act as a single source of seismic energy (and thus to sum the output of the vibrators shown in FIG. 16) it is also necessary to take into account the delay that will be caused by operating the vibrators at different depths. Summing the sources together requires using expressions similar to the following (if the acoustic velocity in water is assumed to be 1500 meters/sec.) to compensate for the different depth of each vibrator:

$$[0083] \quad \text{Vibrator1}(t) + \text{Vibrator2}(t + dt_{\text{source2}}) + \text{Vibrator3}(t + dt_{\text{source3}})$$

$$[0084] \quad dt_{\text{vibrator2}} = (\text{vibrator_depth1} - \text{vibrator_depth2}) / 1500$$

$$[0085] \quad dt_{\text{vibrator3}} = (\text{vibrator_depth1} - \text{vibrator_depth3}) / 1500$$

[0086] By providing an array of vibrators and by selecting vibrators in the array with specific frequency response and by operating each vibrator at a depth corresponding to its frequency response, the result is an optimization of both the vibrator frequency response and the depths at which to tow each vibrator to gain the most power in penetrating the subsurface.

[0087] In some examples, the vibrators may be driven using sweeps or chirps known in the art. In some examples, the vibrators in an array may be driven using spread spectrum

driver signals, for example, DSSS signals as described above with reference to FIGS. 8 through 15. In such examples, the bandwidth (frequency range) of the signal used to operate each vibrator in the array may be selected to correspond to the frequency range of each vibrator. Using such driver signals for each vibrator may increase the efficiency of each vibrator and the array.

[0088] Seismic vibrators and methods for operating such vibrators according to the various aspects of the invention may provide more robust seismic signal detection, may reduce environmental impact of seismic surveying by spreading seismic energy over a relatively wide frequency range, and may increase the efficiency of seismic surveying by enabling simultaneous operation of a plurality of seismic sources while enabling detection of seismic energy from individual ones of the seismic sources.

[0089] While the invention has been described with respect to a limited number of embodiments, those skilled in the art, having benefit of this disclosure, will appreciate that other embodiments can be devised which do not depart from the scope of the invention as disclosed herein. Accordingly, the scope of the invention should be limited only by the attached claims.

Claims

What is claimed is:

1. A method for generating seismic energy for subsurface surveying, comprising:
operating a first seismic vibrator in a body of water; and
operating at least a second seismic vibrator in the body of water substantially contemporaneously with the operating the first seismic vibrator, the first and the second vibrators each having a different selected frequency response, the first and second vibrators each operated at a water depth such that a surface ghost amplifies a downward output of each vibrator within a selected frequency range, the first and second vibrators each driven by a signal having a frequency corresponding to the frequency response of the respective vibrator.
2. The method of claim 1 wherein the driver signal comprises a sweep.
3. The method of claim 1 wherein the driver signal for each vibrator comprises a direct sequence spread spectrum code.
4. The method of claim 3 wherein the code comprises at least one of a maximum length sequence, a Gold sequence and a Kasami sequence.
5. The method of claim 1 wherein each vibrator has at least two resonance frequencies in a selected frequency band.
6. The method of claim 1 further comprising detecting seismic signals at a plurality of spaced apart locations and determining portions of the detected seismic signals originating from each of the first and the at least a second seismic vibrator.
7. The method of claim 1 wherein an actuation time of each vibrator corresponds to the depth at which each vibrator is operated such that the first and at least a second vibrators act as a vibrator array.

8. The method of claim 1 wherein each vibrator has at least two resonance frequencies within a range corresponding to the frequency response thereof.
9. A method for marine seismic surveying, comprising:
operating a seismic vibrator array in a body of water, the array including a plurality of seismic vibrators each having a different selected frequency response, the vibrators each operated at a water depth such that a surface ghost amplifies a downward output of each vibrator within a selected frequency range, a signal used to drive each vibrator corresponding to the frequency response of each vibrator; and
detecting seismic signals originating from the array at each of a plurality of seismic receivers disposed at spaced apart locations.
10. The method of claim 9 wherein the driver signal for each vibrator comprises a sweep.
11. The method of claim 9 wherein the driver signal for each vibrator comprises a direct sequence spread spectrum code.
12. The method of claim 11 wherein the code comprises at least one of a maximum length sequence, a Gold sequence and a Kasami sequence.
13. The method of claim 9 wherein each vibrator has at least two resonance frequencies in a selected frequency band.
14. The method of claim 9 further comprising detecting seismic signals at a plurality of spaced apart locations and determining portions of the detected seismic signals originating from each of the first and the at least a second seismic vibrator.
15. The method of claim 9 wherein an actuation time of each vibrator corresponds to the depth at which each vibrator is operated such that the vibrators act as a vibrator array.
16. The method of claim 9 wherein each vibrator has at least two resonance frequencies within a range corresponding to the frequency response thereof.

Abstract

[0090] A method for generating seismic energy for subsurface surveying includes operating a first seismic vibrator and operating at least a second seismic vibrator in a body of water substantially contemporaneously with the operating the first seismic vibrator. Each vibrator has a different selected frequency response, and the vibrators each are operated at a depth in the water such that a surface ghost amplifies a downward output of each vibrator within a selected frequency range. A signal used to drive each vibrator has a frequency range corresponding to the frequency range of each vibrator.

**DECLARATION FOR UTILITY OR
DESIGN
PATENT APPLICATION
(37 CFR 1.63)**Declaration
Submitted
With Initial
Filing

OR

Declaration
Submitted after Initial
Filing (surcharge
(37 CFR 1.16 (f))
required)Attorney Docket
Number

PGS-08-10US

First Named Inventor

Stig Rune Lennart Tenganmn

COMPLETE IF KNOWN

Application Number

Filing Date

November 7, 2008

Art Unit

Examiner Name

I hereby declare that: (1) Each inventor's residence, mailing address, and citizenship are as stated below next to their name; and (2) I believe the inventor(s) named below to be the original and first inventor(s) of the subject matter which is claimed and for which a patent is sought on the invention entitled:

METHOD FOR OPTIMIZING ENERGY OUTPUT FROM A SEISMIC VIBRATOR ARRAY

(Title of the Invention)

the specification of which



is attached hereto

OR



was filed on (MM/DD/YYYY)

as United States Application Number or PCT International

Application Number

and was amended on (MM/DD/YYYY)

(if applicable).

I hereby state that I have reviewed and understand the contents of the above identified specification, including the claims, as amended by any amendment specifically referred to above.

I acknowledge the duty to disclose information which is material to patentability as defined in 37 CFR 1.56, including for continuation-in-part applications, material information which became available between the filing date of the prior application and the national or PCT international filing date of the continuation-in-part application.

Authorization To Permit Access To Application by Participating Offices

If checked, the undersigned hereby grants the USPTO authority to provide the European Patent Office (EPO), the Japan Patent Office (JPO), and any other intellectual property offices in which a foreign application claiming priority to the above-identified application is filed access to the above-identified patent application. See 37 CFR 1.14(c) and (h). This box should not be checked if the applicant does not wish the EPO, JPO, or other intellectual property office in which a foreign application claiming priority to the above-identified application is filed to have access to the application.

In accordance with 37 CFR 1.14(h)(3), access will be provided to a copy of the application-as-filed with respect to: 1) the above-identified application, 2) any foreign application to which the above-identified application claims priority under 35 USC 119(a)-(d) if a copy of the foreign application that satisfies the certified copy requirement of 37 CFR 1.55 has been filed in the above-identified US application, and 3) any U.S. application from which benefit is sought in the above-identified application.

In accordance with 37 CFR 1.14(c), access may be provided to information concerning the date of filing the Authorization to Permit Access to Application by Participating Offices.

[Page 1 of 3]

This collection of information is required by 35 U.S.C. 115 and 37 CFR 1.63. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.11 and 1.14. This collection is estimated to take 21 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

76

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it contains a valid OMB control number.

DECLARATION — Utility or Design Patent Application

Claim of Foreign Priority Benefits

I hereby claim foreign priority benefits under 35 U.S.C. 119(a)-(d) or (f), or 365(b) of any foreign application(s) for patent, inventor's or plant breeder's rights certificate(s), or 365(a) of any PCT international application which designated at least one country other than the United States of America, listed below and have also identified below, by checking the box, any foreign application for patent, inventor's or plant breeder's rights certificate(s), or any PCT international application having a filing date before that of the application on which priority is claimed.

Prior Foreign Application Number(s)	Country	Foreign Filing Date (MM/DD/YYYY)	Priority Not Claimed	Certified Copy Attached?	
				YES	NO
			☐	☐	☐
			☐	☐	☐
			☐	☐	☐
			☐	☐	☐

☐ Additional foreign application numbers are listed on a supplemental priority data sheet PTO/SB/02B attached hereto.

DECLARATION — Utility or Design Patent Application

Direct all
correspondence to:

☐

The address
associated with
Customer Number:

OR

☒

Correspondence
address below

Name

E. Eugene Thigpen

Address

Petroleum Geo-Services, Inc., P.O. Box 42805

City

Houston

State

Texas

ZIP

77242-2805

Country

United States of America

Telephone

281-509-8368

Email

281-509-8085

WARNING:

Petitioner/applicant is cautioned to avoid submitting personal information in documents filed in a patent application that may contribute to identity theft. Personal information such as social security numbers, bank account numbers, or credit card numbers (other than a check or credit card authorization form PTO-2038 submitted for payment purposes) is never required by the USPTO to support a petition or an application. If this type of personal information is included in documents submitted to the USPTO, petitioners/applicants should consider redacting such personal information from the documents before submitting them to the USPTO. Petitioner/applicant is advised that the record of a patent application is available to the public after publication of the application (unless a non-publication request in compliance with 37 CFR 1.213(a) is made in the application) or issuance of a patent. Furthermore, the record from an abandoned application may also be available to the public if the application is referenced in a published application or an issued patent (see 37 CFR 1.14). Checks and credit card authorization forms PTO-2038 submitted for payment purposes are not retained in the application file and therefore are not publicly available. Petitioner/applicant is advised that documents which form the record of a patent application (such as the PTO/SB/01) are placed into the Privacy Act system of records DEPARTMENT OF COMMERCE, COMMERCE-PAT-7, System name: *Patent Application Files*. Documents not retained in an application file (such as the PTO-2038) are placed into the Privacy Act system of COMMERCE/PAT-TM-10, System name: *Deposit Accounts and Electronic Funds Transfer Profiles*.

I hereby declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under 18 U.S.C. 1001 and that such willful false statements may jeopardize the validity of the application or any patent issued thereon.

NAME OF SOLE OR FIRST INVENTOR:

☐

A petition has been filed for this unsigned inventor

Given Name (first and middle [if any])

Stig Rune Lennart

Family Name or Surname

Tenghamn

Inventor's Signature

Stig Rune Lennart Tenghamn

Date

Nov. 7, 2008

Residence: City
Katy

State
Texas

Country
United States

Citizenship
Sweden

Mailing Address

3303 Sage Terrace

City
Katy

State
Texas

Zip
77450

Country
United States

☐

Additional inventors or a legal representative are being named on the _____ supplemental sheet(s) PTO/SB/02A or 02LR attached hereto.

28

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

**POWER OF ATTORNEY
and
CORRESPONDENCE ADDRESS
INDICATION FORM**

Application Number	
Filing Date	November 7, 2008
First Named Inventor	Stig Rune Lennart TENGHAMN
Title	Method for Optimizing Energy..
Art Unit	
Examiner Name	
Attorney Docket Number	PGS-08-10US

I hereby appoint:

☐ Practitioners associated with the Customer Number:
OR

☒ Practitioner(s) named below:

Name	Registration Number
E. Eugene Thigpen	27,400
Richard A. Fagin	39,182

as my/our attorney(s) or agent(s) to prosecute the application identified above, and to transact all business in the United States Patent and Trademark Office connected therewith.

Please recognize or change the correspondence address for the above-identified application to:

☐ The address associated with the above-mentioned Customer Number.
OR

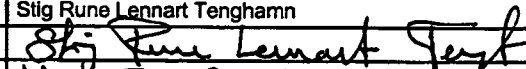
☐ The address associated with Customer Number:
OR

☒ Firm or Individual Name	E. Eugene Thigpen				
Address	Petroleum Geo-Services, Inc.				
Address	P.O. Box 42805				
City	Houston	State	Texas	Zip	77242-2805
Country	United States of America				
Telephone	281-509-8368	Fax	281-509-8085		

I am the:

☒ Applicant/Inventor.
☐ Assignee of record of the entire interest. See 37 CFR 3.71.
Statement under 37 CFR 3.73(b) is enclosed. (Form PTO/SB/96)

SIGNATURE of Applicant or Assignee of Record

Name	Stig Rune Lennart TENGHAMN				
Signature					
Date	Nov. 7, 2008			Telephone	281-509-8367

NOTE: Signatures of all the inventors or assignees of record of the entire interest or their representative(s) are required. Submit multiple forms if more than one signature is required, see below*.

☒ *Total of 1 forms are submitted.

This collection of information is required by 37 CFR 1.31 and 1.33. The information is required to obtain or retain a benefit by the public which is to file (and by the USPTO to process) an application. Confidentiality is governed by 35 U.S.C. 122 and 37 CFR 1.14. This collection is estimated to take 3 minutes to complete, including gathering, preparing, and submitting the completed application form to the USPTO. Time will vary depending upon the individual case. Any comments on the amount of time you require to complete this form and/or suggestions for reducing this burden, should be sent to the Chief Information Officer, U.S. Patent and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. DO NOT SEND FEES OR COMPLETED FORMS TO THIS ADDRESS. SEND TO: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

If you need assistance in completing the form, call 1-800-PTO-9199 and select option 2.

1/11

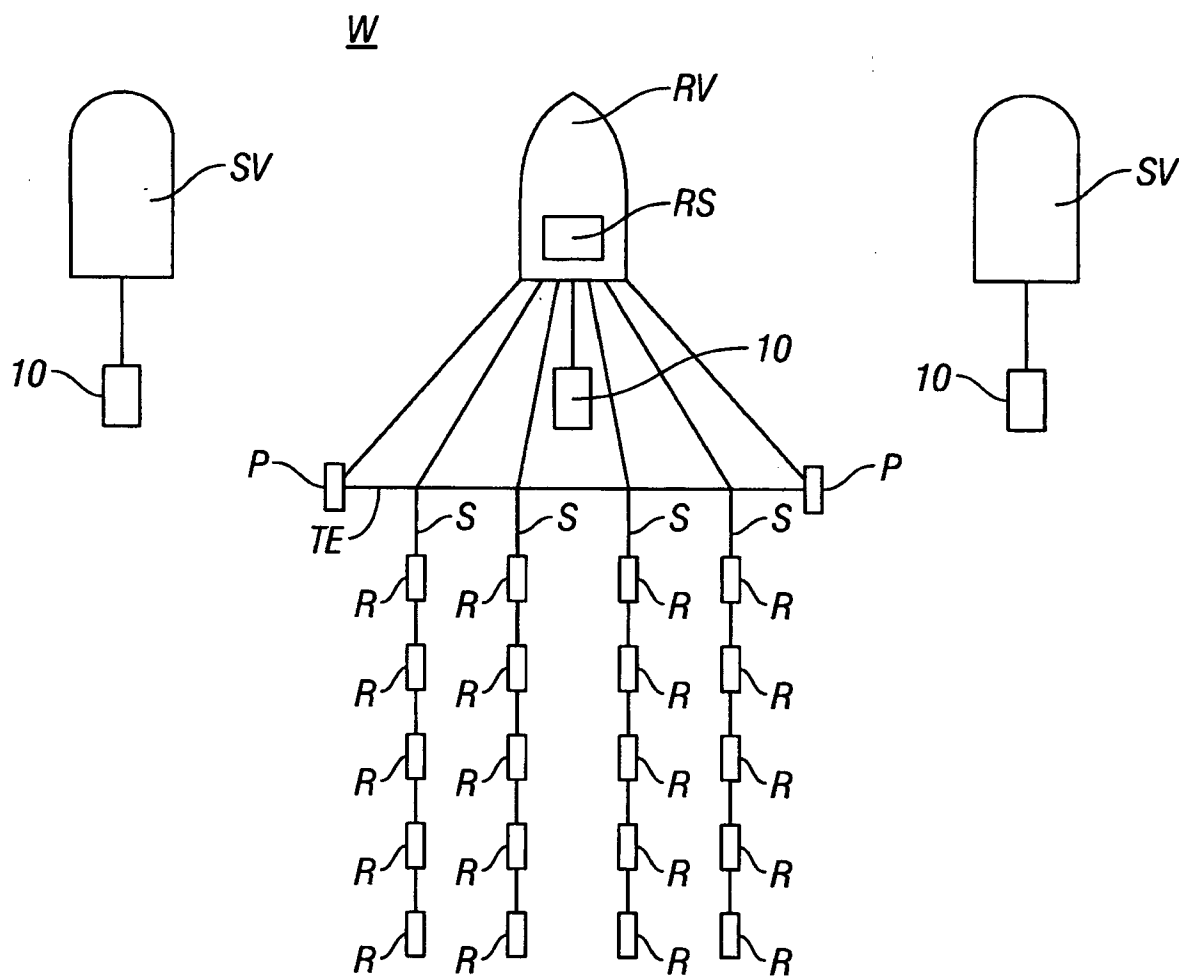


FIG. 1

2/11

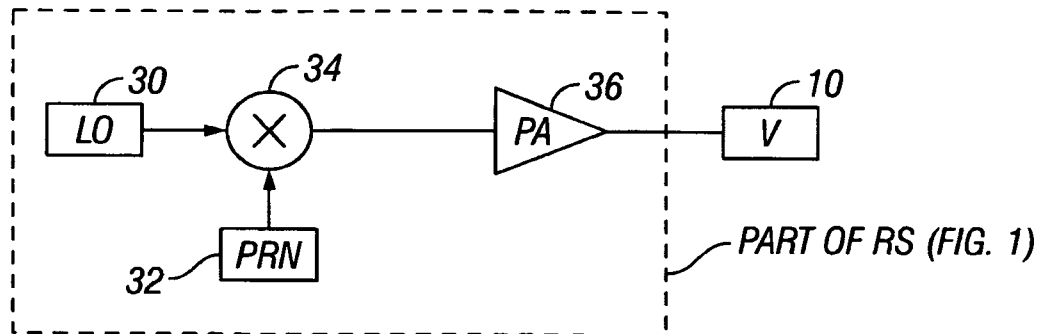


FIG. 1A

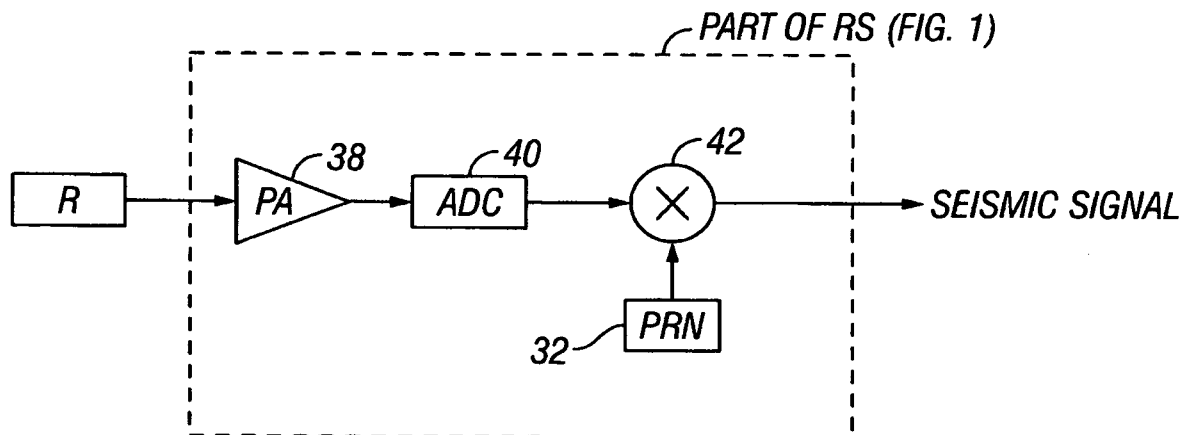


FIG. 1B

3/11

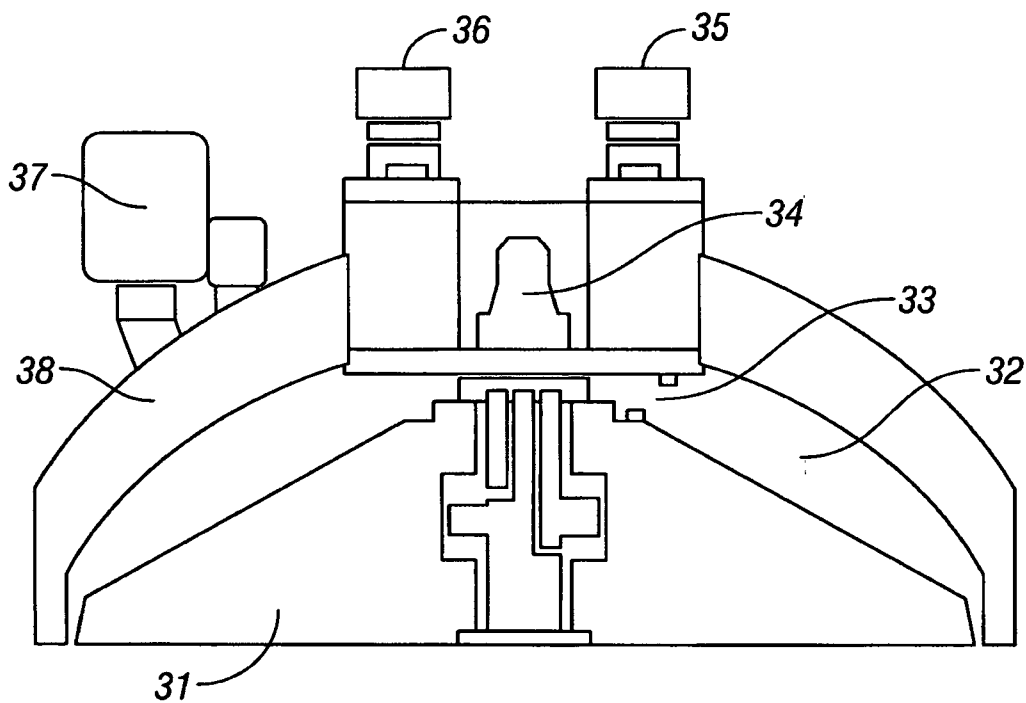


FIG. 2
(Prior Art)

4/11

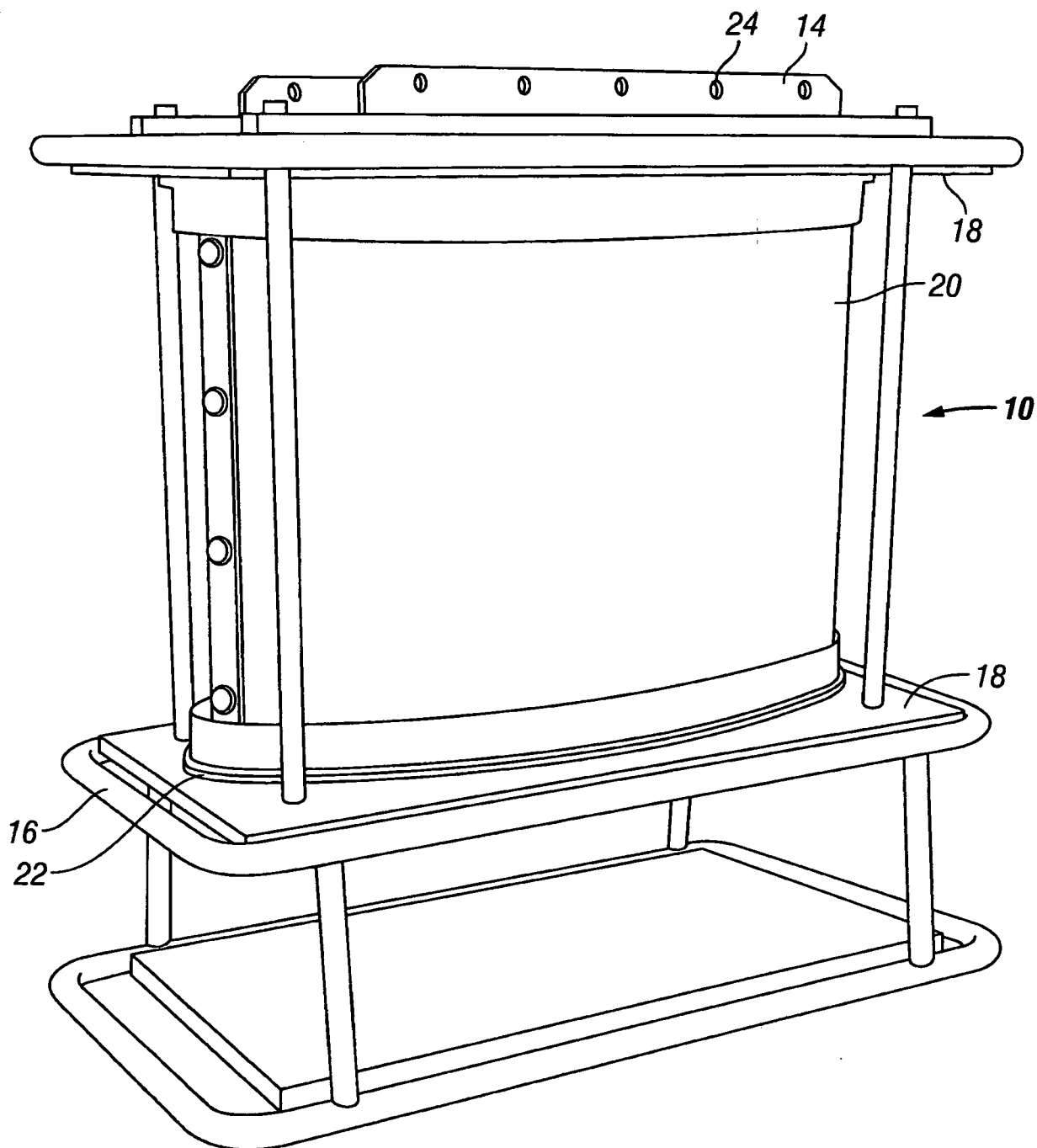


FIG. 3

5/11

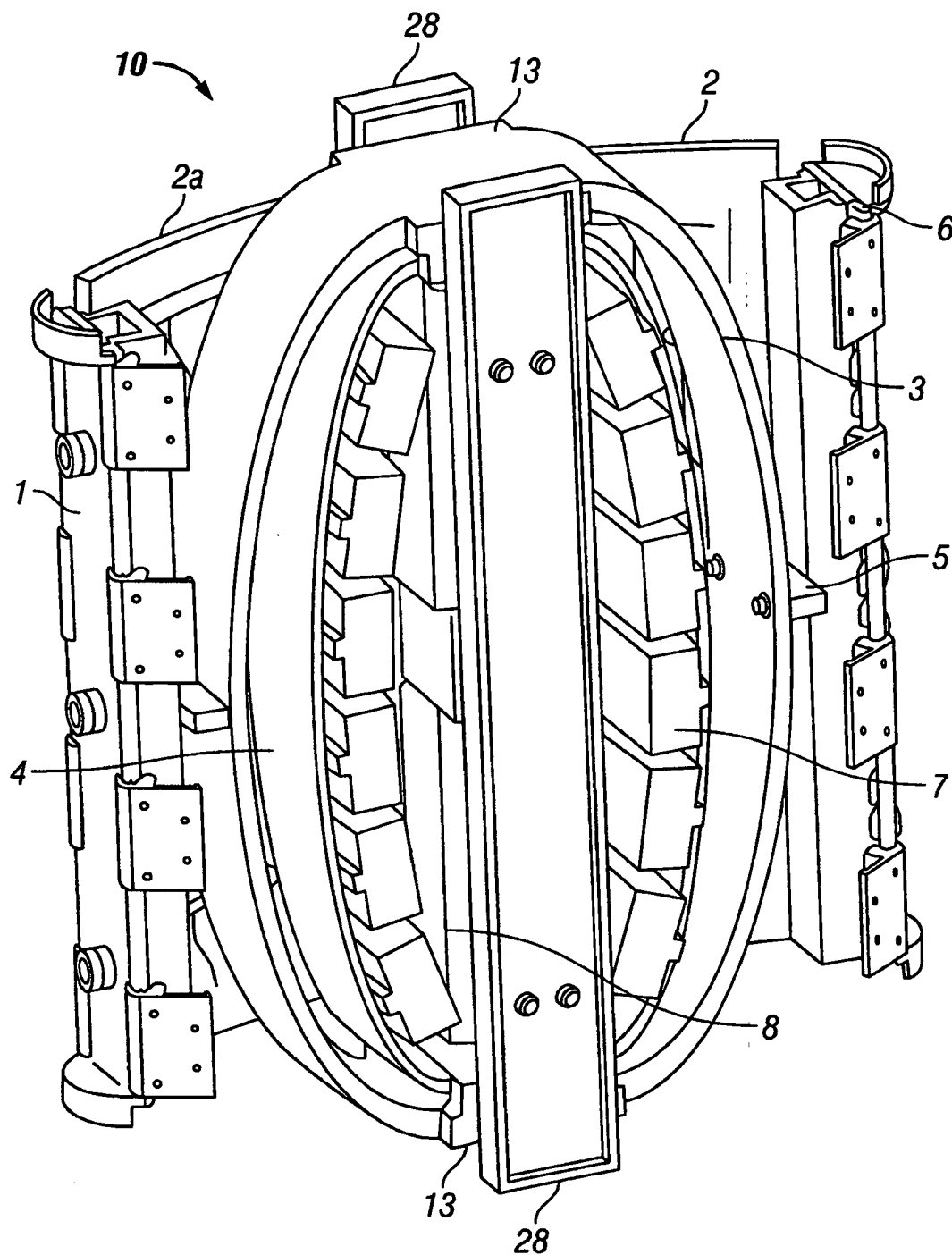


FIG. 4

94

6/11

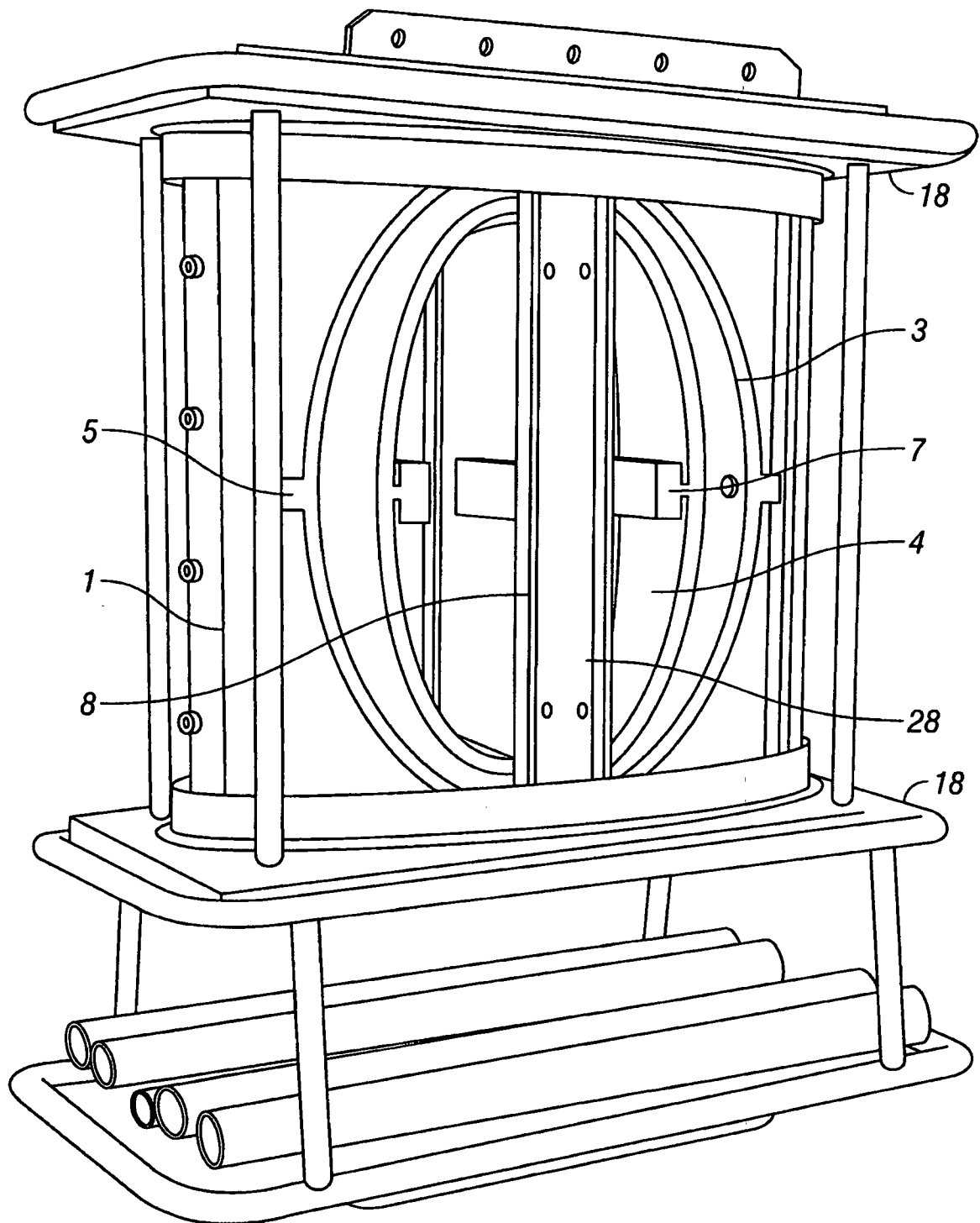


FIG. 5

7/11

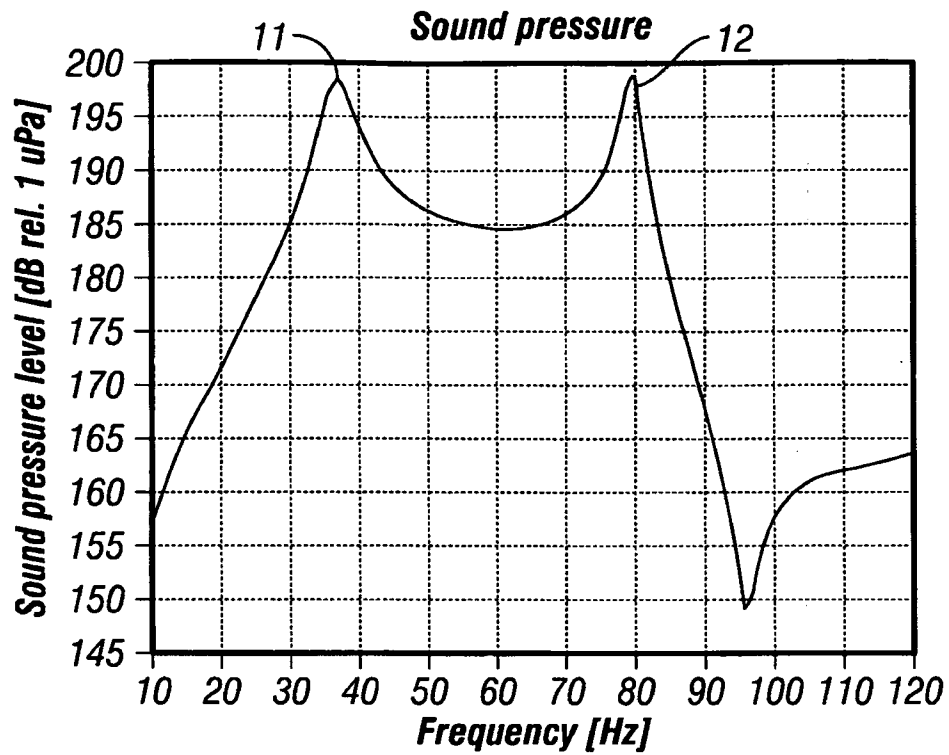


FIG. 6

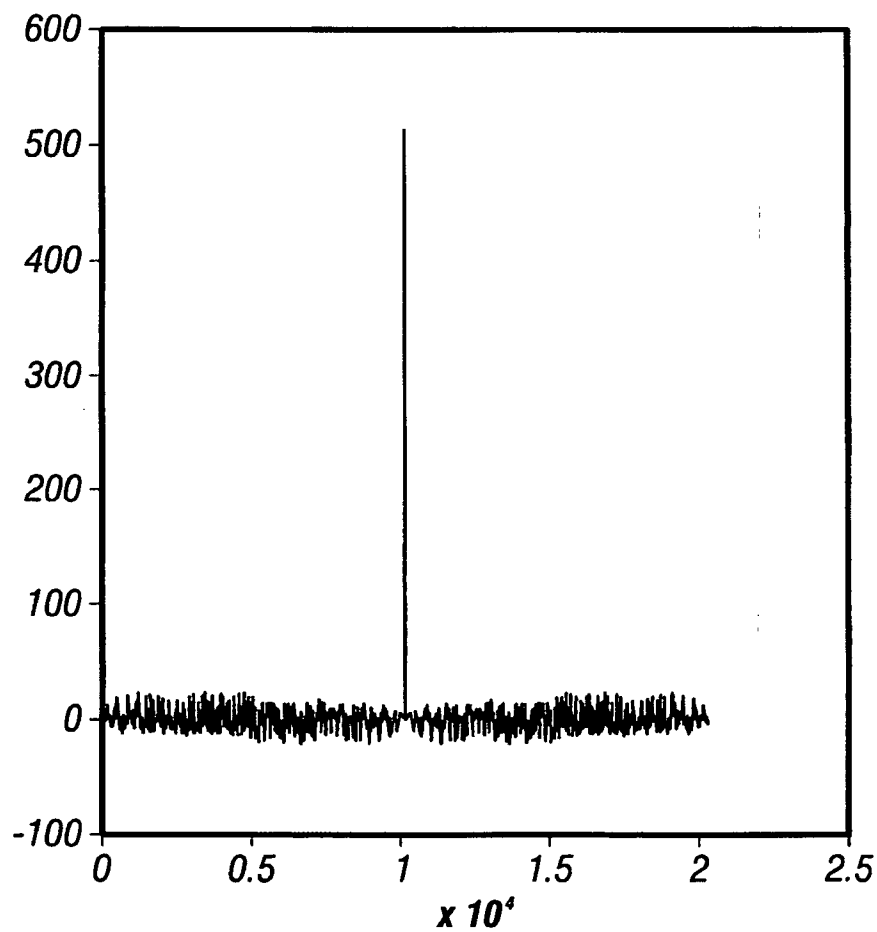


FIG. 7

96

8/11

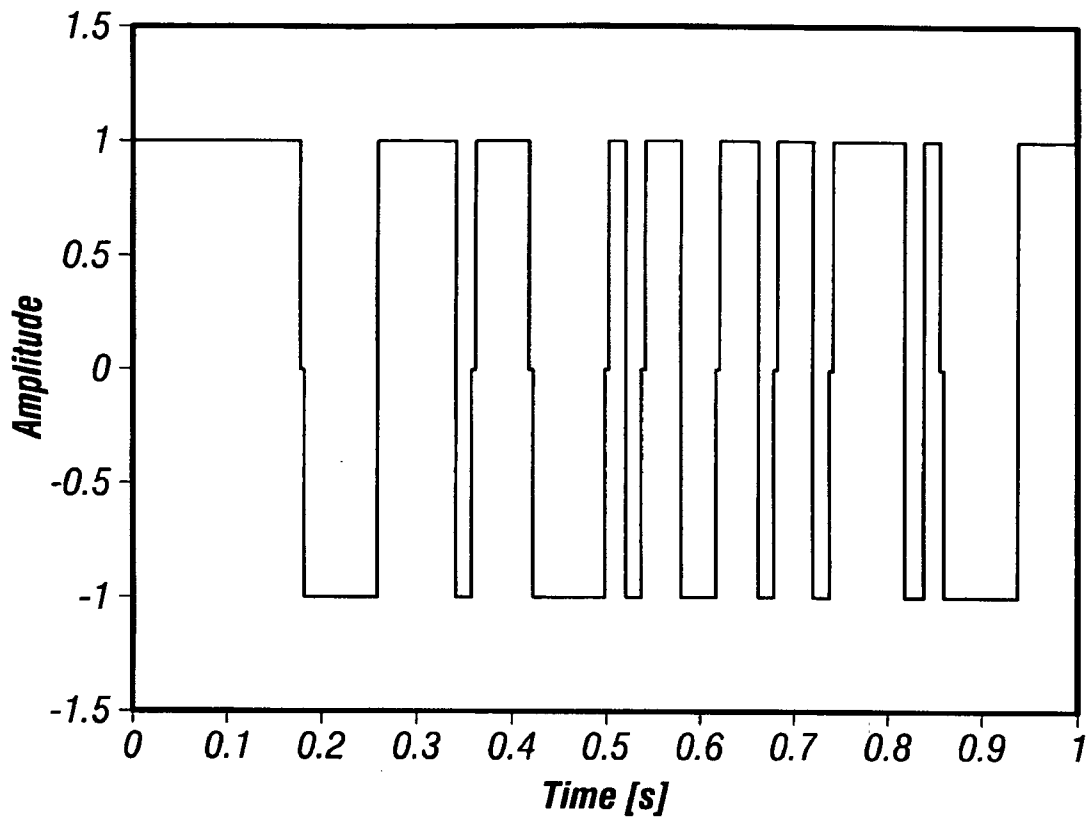


FIG. 8

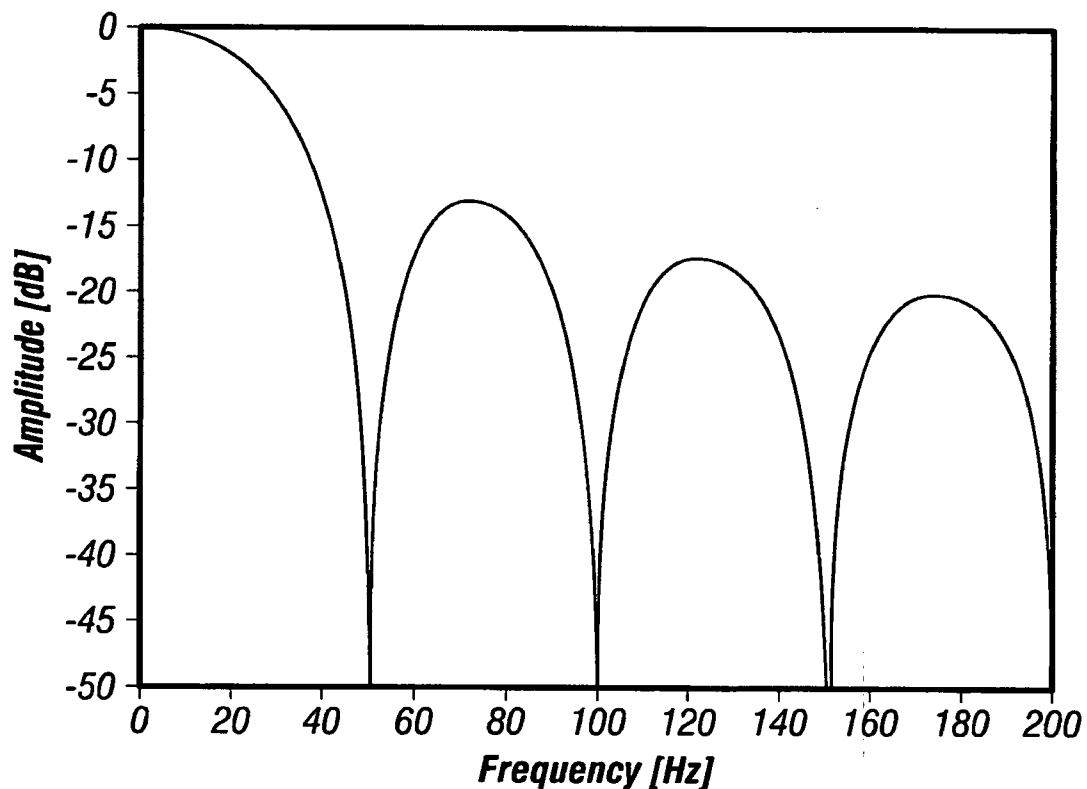


FIG. 9

9/11

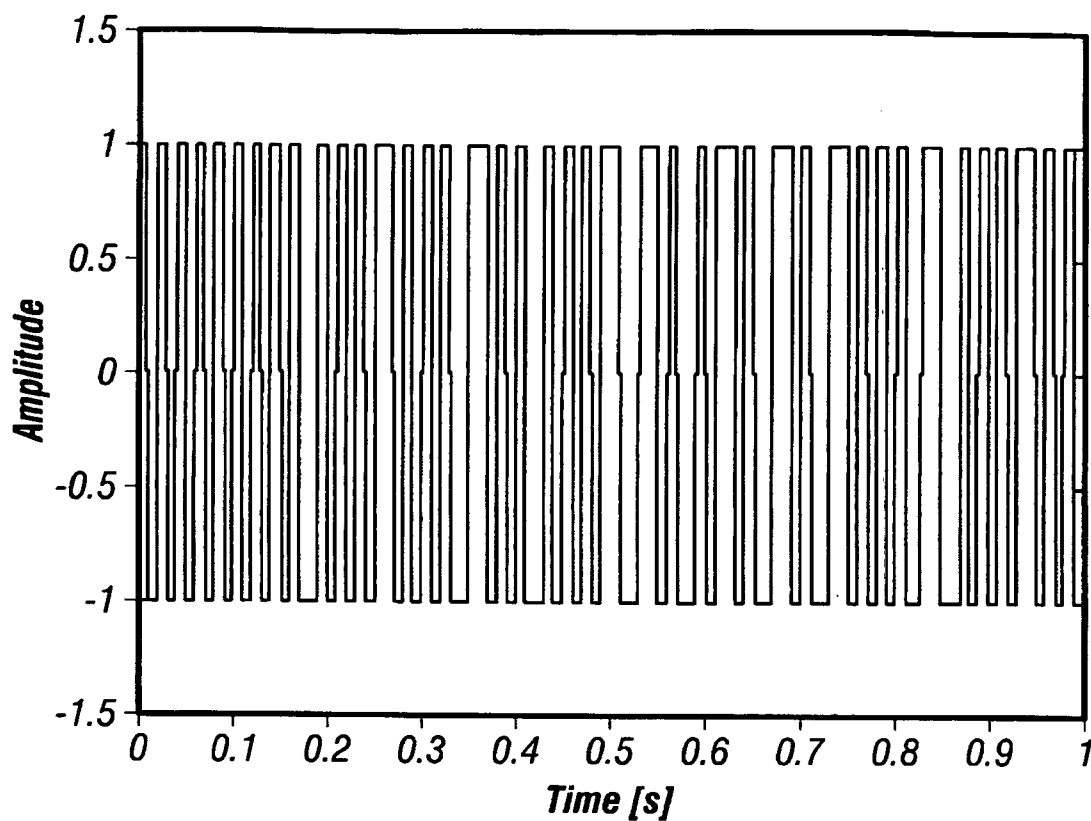


FIG. 10

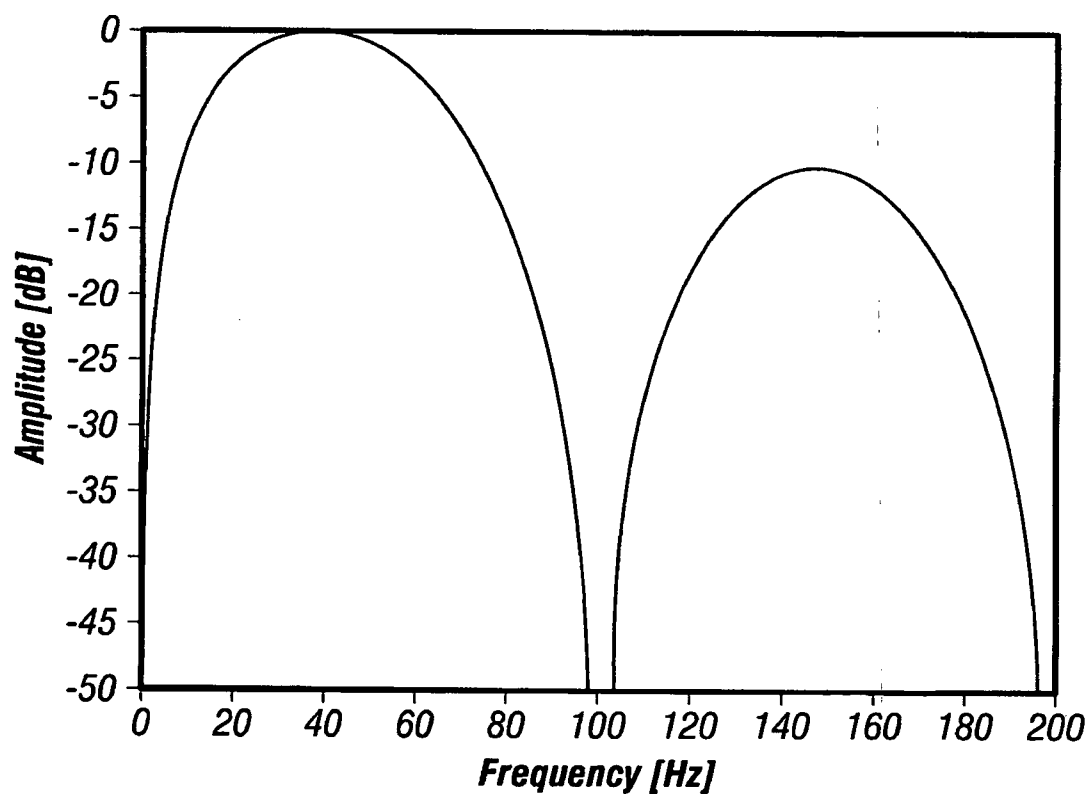


FIG. 11

10/11

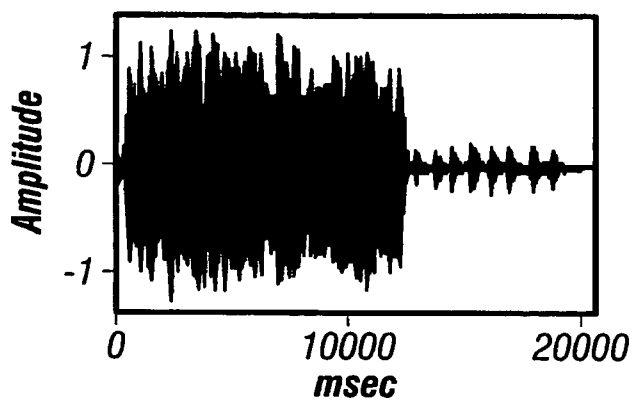


FIG. 12A

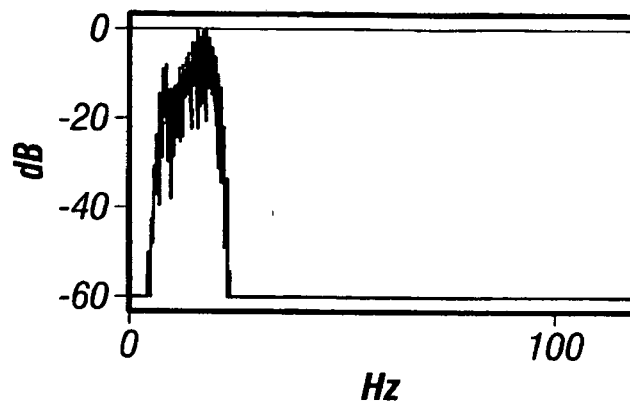


FIG. 12B

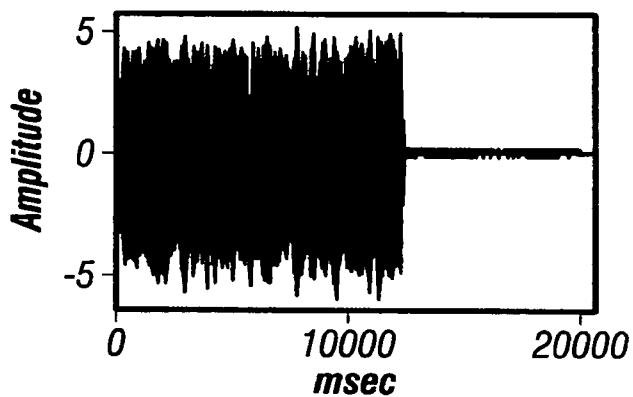


FIG. 13A

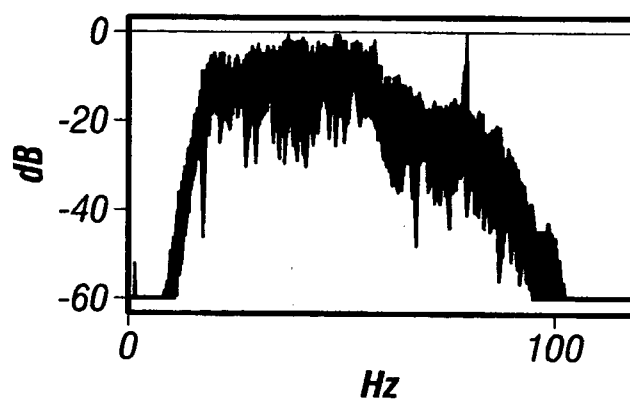


FIG. 13B

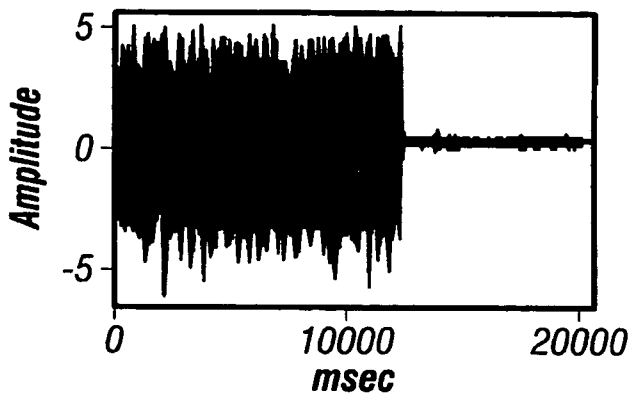


FIG. 14A

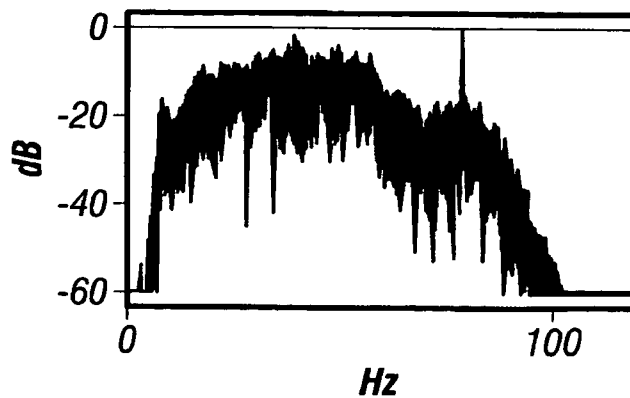


FIG. 14B

11/11

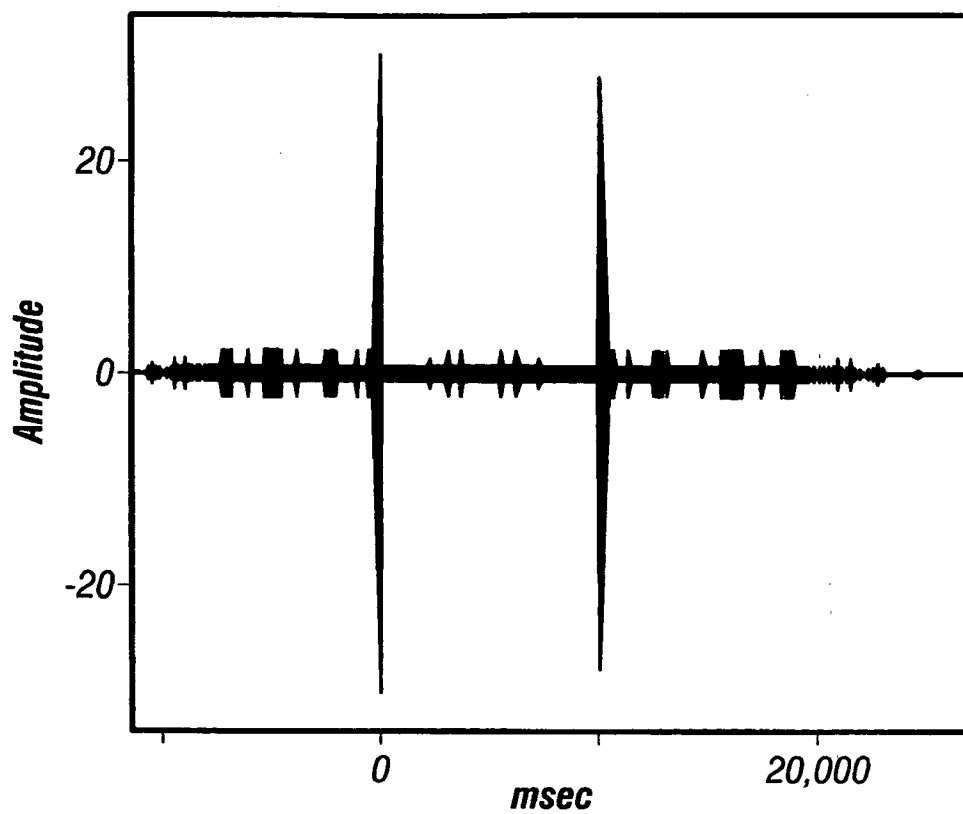


FIG. 15

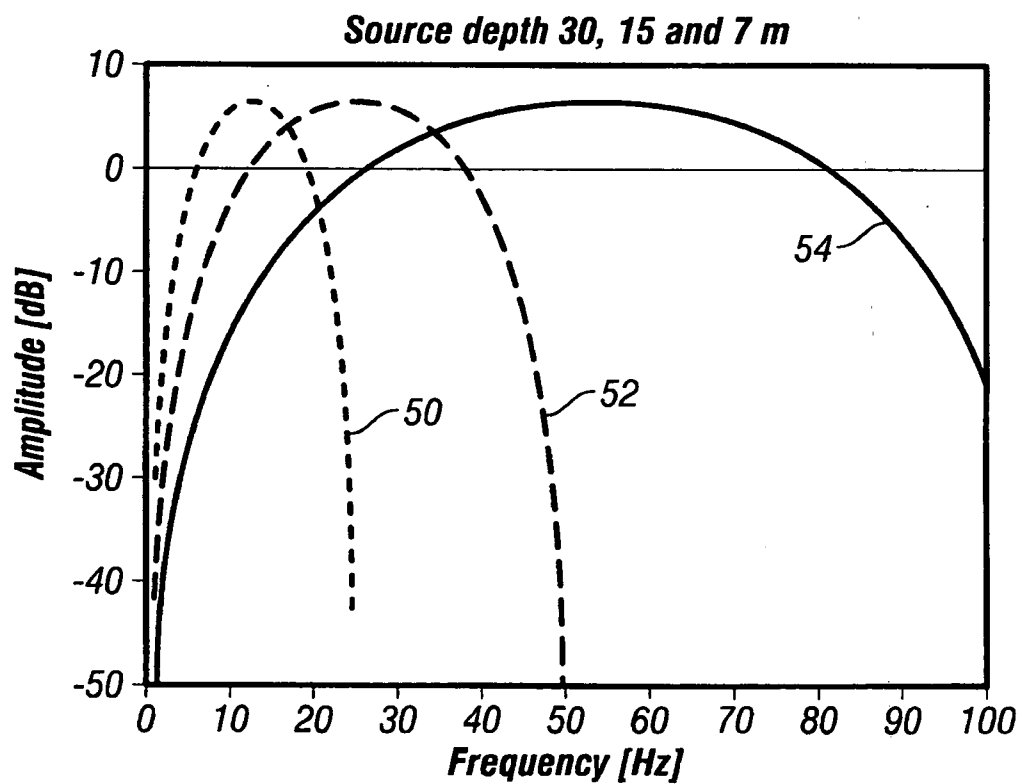


FIG. 16

101

TRADUCCIÓN OFICIAL No. 10.15/09a realizada por Diego Vargas, Traductor Oficial, Resolución No. 0001 de 1999 del Ministerio de Justicia, registrado ante el Ministerio de Relaciones Exteriores de Colombia.



LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

A TODOS A QUIENES ESTOS PRESENTES LLEGAREN:
DEPARTAMENTO DE COMERCIO DE LOS ESTADOS UNIDOS

OFICINA DE MARCAS Y PATENTES DE LOS ESTADOS UNIDOS

19 de agosto de 2009

LA PRESENTE ES PARA CERTIFICAR QUE EL ANEXO ES UNA COPIA FIEL DE LOS ARCHIVOS DE LA OFICINA DE MARCAS Y PATENTES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AQUELLOS DOCUMENTOS RELATIVOS A LA SOLICITUD DE PATENTE IDENTIFICADA A CONTINUACIÓN QUE HAN CUMPLIDO LOS REQUISITOS PARA QUE SE LES OTORQUE UNA FECHA DE PRESENTACIÓN SEGÚN EL ART. 111 DEL CAPÍTULO 35 DEL USC.

NÚMERO DE SOLICITUD: 12/291,221

FECHA DE PRESENTACIÓN: 7 de noviembre de 2008

EL CÓDIGO DE PAÍS Y NÚMERO DE SU SOLICITUD PRIORITARIA, PARA USO EN SOLICITUDES EN EL EXTERIOR DE ACUERDO CON LA CONVENCIÓN DE PARÍS ES US12/291,221

Por autorización del:

Subsecretario de Comercio para la Propiedad
Intelectual y Director de la Oficina de
Marcas y Patentes de los Estados Unidos

Firma ilegible

P. SWAIN

Funcionario de Autenticaciones



Sello: Oficina de Marcas y Patentes, Estados Unidos de América

DIEGO F. VARGAS Z.

TRADUCTOR E INTERPRETE OFICIAL
ESPAÑOL - INGLÉS - INGLÉS - ESPAÑOL

RES. 0001 DE ENERO 4 DE 1999

Vigentes a 12/08/2004
de Conformidad con la Ley de Apropiações Consolidadas
de 2005 (H.R. 4818)

TRANSMISIÓN DE TASAS
Para el Año Fiscal 2008

El Solicitante reivindica estado de entidad pequeña. Ver Art 37 del
CFR 1.27

SUMA TOTAL DE PAGO (\$) 1.130,00

Diligencie si conoce la información

Número de solicitud

Fecha de presentación

Primer Inventor Nombrado

Nombre del Examinador

Unidad de Arte

Referencia del Apoderado No.

7 de noviembre de 2008

Stig Rune Lennart Tenganm

PGS-08-10US

MÉTODO DE PAGO (marque todos los que apliquen)

Cheque Tarjeta de Crédito Cheque Gerencia Ninguno Otro (identificar):

Cuenta de Depósito Cuenta de Depósito Número 502223 Nombre Cuenta de Depósito:

Para la cuenta de depósito identificada anteriormente, el Director por el presente queda autorizado para: (marque todos los que apliquen)

Cargar las tasas indicadas a continuación

Cargar las tasas indicadas a continuación, excepto por la tasa de presentación

Cargar cualquier tasa adicional o faltante en las tasas de conformidad con el Art. 37 del CFR 1.16 y 1.17

Acreditar cualquier sobrepago

Advertencia: La información de este formulario puede hacerse pública. No se debe incluir información de tarjetas de crédito es este formulario. Envíe la información de tarjeta de crédito y autorización en el formato PTO-2036.

CÁLCULO DE TASAS

1. TASA DE PRESENTACIÓN BÁSICA, BÚSQUEDA Y EXAMEN

TASAS PRESENTACIÓN

TASAS BÚSQUEDAS

TASAS EXAMEN

Entidad Pequeña

Entidad Pequeña

Entidad Pequeña

Tipo Solicitud	Tasa(\$)	Tasa(\$)	Tasa(\$)	Tasa (\$)	Tasa(\$)	Tasa(\$)	Tasas Pagadas(\$)
Utilidad	310	155	510	255	210	105	1.099,00
Diseño	210	105	100	50	130	65	
Vegetal	210	105	310	155	160	80	
Nueva Publicación	310	155	510	255	620	310	
Provisional	210	105	0	0	0	0	

2. TASAS POR EXCESO DE REIVINDICACIONES

Entidad Pequeña

Descripción de Tasas	Tasa (\$)	Tasa (\$)
Cada reivindicación en exceso de 20 (Incluyendo nuevas publicaciones)	50	25
Cada reivindicación en exceso de 3 (incluyendo nuevas publicaciones)	210	105
Múltiples reivindicaciones dependientes	370	185

Reivindicaciones

Reivindicaciones

Totales

Adicionales

Tasa (\$)

Tasas Pagadas(\$)

16

-20 o HP =

0

X

0

=

0

Múltiples Reivindicaciones

Dependientes

Tasa (\$)

Tasa Pagada(\$)

HP= número mayor de reivindicaciones totales pagadas si es superior a 20

Reivindicaciones

Reivindicaciones

Independientes

Adicionales

Tasa (\$)

Tasas Pagadas(\$)

2

- 3 o HP =

0

X

0

=

0

HP= número mayor de reivindicaciones totales pagadas si es superior a 20

3. TASA POR TAMAÑO DE SOLICITUD

Si la descripción y los dibujos exceden 100 hojas de papel (excluyendo listados de computador o de secuencias presentadas electrónicamente de conformidad con el artículo 1.52(e) del título 37 del CFR, la tasa de solicitud adicional a ser cancelada es de \$260 dólares (\$130 para entidades pequeñas) por cada 50 hojas o fracción adicional. Consultar artículo 41(a)(I)(G) del título 35 del U.S.C. y artículo 1.16(s) del título 37 del C.F.R.

DIEGO F. VARGAS Z.

TRADUCTOR E INTERPRETE OFICIAL

ESPAÑOL - INGLES - INGLES - ESPAÑOL

RES. 0001 DE ENERO 4 DE 1999

MINISTERIO DE JUSTICIA

2

03

Total de hojas	Hojas Adicionales	Número de grupos de 50 hojas adicionales o fracción	Tasas(\$)	Tasas Pagas(\$)
_____ -100 =	_____ /50 =	_____ (redondear a número entero) X	_____ =	_____
4. OTRAS TASAS				Tasas Pagadas (\$)
Descripción no en inglés, \$130 (no hay descuento para entidad pequeña)				_____
Otros (e.g. sobretasa presentación extraordinaria): Inscripción de Cesión				40.00

ENVIADO POR			
Firma	Firma Ilegible	Registro No. 27.400 (Apoderado/Agente)	Teléfono 281-509-8358
Nombre (Impreso/Molde)	E. Eugen Thigpen		Fecha Noviembre 7 de 2008

La recopilación de esta información es obligatoria según el artículo 1.136 del capítulo 37 del C.F.R. Se requiere esta obligación para obtener o conservar el beneficio por parte del público (y por parte de la oficina de marcas y patentes de los Estados Unidos para tramitar) una solicitud. La confidencialidad está regida por el título 122 del capítulo 35 del U.S.C. y por el artículo 1.14 del título 37 del CFR. Se estima que la recopilación toma alrededor de 30 minutos incluyendo la consecución, preparación y envío del formulario de solicitud diligenciado a la oficina de marcas y patentes de los Estados Unidos. El tiempo variará según cada caso. Cualquier comentario relativa a la cantidad de tiempo que usted requiere para diligenciar este formulario y/o sugerencias para reducir esta carga, deberá ser enviado al Funcionario Jefe de Información, U.S. Patente and Trademark Office, U.S. Department of Commerce, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450. NO ENVÍE EL PAGO DE TASAS O LOS FORMULARIOS DILIGENCIADOS A ESTA DIRECCIÓN.

ENVÍELOS A: Commissioner for Patents: P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Si necesita ayuda para diligenciar este formulario, llame al 1-800-PTO-9199 y seleccione la opción 2.

APOSTILLA

(Convention de La Haye du 5 octubre 1961)

1. País: Estados Unidos de América
- Este documento público
2. ha sido firmado por P. Swain
3. actuando en calidad de Funcionario de Autenticaciones
4. lleva el sello/estampilla de Oficina de Marcas Y Patentes de los Estados Unidos

Certificado

5. en Washington, D.C.
6. el veinticuatro de agosto de 2009
7. por Funcionario de Autenticaciones, Departamento de Estado de los Estados Unidos

Diego F. Vargas
DIEGO F. VARGAS Z.

TRADUCTOR E INTERPRETE OFICIAL
ESPAÑOL - INGLES – INGLES - ESPAÑOL

RES. 0001 DE ENERO 4 DE 1999

MINISTERIO DE JUSTICIA

104

8. No. 09036534-1

9. Sello/estampilla:

10. Firma:

4FE000 *Firma ilegible*
Patrick O. Hatchett

Es traducción fiel y completa de la cual se deja copia en esta oficina para su confrontación.

DVZ\DVZ\ID-159411\WPCL002H\COLO 17175-801-001-0

Diego F. Vargas
DIEGO F. VARGAS Z.
TRADUCTOR E INTERPRETE OFICIAL
ESPAÑOL - INGLES - INGLES - ESPAÑOL
RES. 0001 DE ENERO 4 DE 1999
MINISTERIO DE JUSTICIA

4FE000

SH 8 A 21 700 700

MINISTERIO DE
RELACIONES EXTERIORES

2009 OCT 19 A 8:42

JEFE DE LEGALIZACIONES
BOGOTA D.C.

NO SE ASUME
RESPONSABILIDAD
DEL TEXTO

000374

Diego Vargas
CUYA FIRMA APARECE EN EL
DOCUMENTO DESEMPENA
AS FUNCIONES INDICADAS

NO SE ASUME
RESPONSABILIDAD
DEL TEXTO

000373

CUYA FIRMA APARECE EN EL
DOCUMENTO DESEMPENA
AS FUNCIONES INDICADAS

MINISTERIO DE
RELACIONES EXTERIORES

2009 OCT 19 A 8:42

JEFE DE LEGALIZACIONES
BOGOTA D.C.

105

REIVINDICACIONES

Lo que se reivindica es:

1. Un método para generar energía sísmica para la exploración sub-superficial que comprende:

Operar un primer vibrador sísmico en un cuerpo de agua y;

Operar al menos un segundo vibrador sísmico en el cuerpo de agua de forma sustancialmente contemporánea con la operación del primer vibrador sísmico, el primero y el segundo vibradores sísmicos tienen cada uno una diferente respuesta de frecuencia seleccionada, el primero y segundo vibradores operados cada uno a una profundidad de agua tal que un eco de superficie amplifica una salida descendente de cada vibrador dentro de un rango de frecuencias seleccionado, el primero y segundo vibradores excitados cada uno por una señal que tiene una frecuencia correspondiente a la respuesta de frecuencia del vibrador respectivo.
2. El método de la reivindicación 1 donde la señal de control comprende un barrido.
3. El método de la reivindicación 1 donde la señal de control para cada vibrador comprende un código de espectro expandido de secuencia dividida.
4. El método de la reivindicación 3 donde el código comprende por lo menos una secuencia de longitud máxima, una secuencia Gold y una secuencia Kasami.
5. El método de la reivindicación 1 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia en una banda de frecuencias seleccionada.

- 106
6. El método de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente la detección de señales sísmicas en una pluralidad de locaciones espaciadas y la determinación de porciones de las señales sísmicas detectadas originadas del primer vibrador sísmico y del al menos segundo vibrador sísmico.
 7. El método de la reivindicación 1 donde un tiempo de actuación de cada vibrador corresponde a la profundidad a la cual es operado cada vibrador de forma que el primero y al menos un segundo vibrador actúen como un arreglo de vibradores.
 8. El método de la reivindicación 1 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia dentro de un rango correspondiente a su respuesta de frecuencia.
 9. Un método de exploración marina que comprende:
La operación de un arreglo de vibradores sísmicos en un cuerpo de agua, el arreglo incluye una pluralidad de vibradores sísmicos, cada uno de los cuales posee una frecuencia de respuesta diferente seleccionada, los vibradores son operados cada uno a una profundidad de agua tal que un eco de superficie amplifica una salida descendente de cada vibrador dentro de un rango de frecuencias seleccionadas, una señal usada para excitar a cada vibrador, correspondiente a la respuesta de frecuencia de cada vibrador y;
la detección de señales sísmicas originadas del arreglo en cada uno de una pluralidad de receptores sísmicos dispuestos en locaciones espaciadas.
 10. El método de la reivindicación 9 donde la señal de control para cada vibrador comprende un barrido.

- 107
11. El método de la reivindicación 9 donde la señal de control para cada vibrador comprende un código de espectro expandido de secuencia directa.
 12. El método de la reivindicación 11 donde el código comprende al menos una de entre una secuencia de longitud máxima, una secuencia Gold y una secuencia Kasami.
 13. El método de la reivindicación 9 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia en una banda de frecuencias seleccionada.
 14. El método de la reivindicación 9 que comprende adicionalmente la detección de señales sísmicas en una pluralidad de locaciones espaciadas y la determinación de las porciones de las señales sísmicas detectadas originadas desde el primer y el al menos segundo vibradores sísmicos.
 15. El método de la reivindicación 9 donde un tiempo de actuación de cada vibrador corresponde a la profundidad a la cual cada vibrador es operado de tal forma que los vibradores actúan como un arreglo de vibradores.
 16. El método de la reivindicación 9 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia dentro de un rango correspondiente a su respuesta de frecuencia.

408

APOSTILLE

(Convention de La Haye du 5 octobre 1961)

1. Country: United States of America

This public document

2. has been signed by Gloria A. Murray

3. acting in the capacity of Certifying Officer

4. bears the seal/stamp of U.S. Patent and Trademark Office

Certified

5. at Washington, D.C.

6. the second of September, 2009

7. by Assistant Authentication Officer, United States Department of State

8. No. 00037754-1

9. Seal/Stamp:

10. Signature:



Patrick O. Hatchett

109

A 1767605



THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

August 28, 2009

**THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED IS A TRUE COPY FROM THE
RECORDS OF THIS OFFICE OF A DOCUMENT RECORDED ON
NOVEMBER 07, 2008.**

By Authority of the

**Under Secretary of Commerce for Intellectual Property
and Director of the United States Patent and Trademark Office**



Gloria A. Murray
GLORIA A MURRAY
Certifying Officer

U.S. PTO
12/291221
11/07/2008

Form PTO-1595
(Rev. 10/02)

OMB No. 0651-0027 (exp.

Tab settings ⇌ ⇌ ⇌

11-20-2008



103535868

COVER SHEET
ONLY

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
U.S. Patent and Trademark Office

To the Honorable Commissioner of Patents and Trademarks: Please record the attached original documents or copy thereof.

1. Name of conveying party(ies):

Stig Rune Lennart Tenghamn

2. Name and address of receiving party(ies)

Name: PGS Geophysical AS

Internal Address:

Street Address: Strandveien 4

N-1366 Lysaker, Norway

City: See Above State: Zip:

Additional name(s) & address(es) attached? ☐ Yes ☒ No

Additional name(s) of conveying party(ies) attached? ☐ Yes ☒ No

3. Nature of conveyance:

☒ Assignment

☐ Merger

☐ Security Agreement

☐ Change of Name

☐ Other

Execution Date: 11/07/2008

4. Application number(s) or patent number(s):

If this document is being filed together with a new application, the execution date of the application is: 11/07/2008

A. Patent Application No.(s)

B. Patent No.(s)

Additional numbers attached? ☐ Yes ☒ No

5. Name and address of party to whom correspondence concerning document should be mailed:

Name: E. Eugene Thigpen

Internal Address:

Street Address: Petroleum Geo-Services, Inc.

15150 Memorial Drive

City: Houston State: TX Zip: 77079

6. Total number of applications and patents involved: 1

7. Total fee (37 CFR 3.41).....\$ 40.00

☐ Enclosed

☒ Authorized to be charged to deposit account

8. Deposit account number:

50-2223 for PGS-08-10US

11/19/2008 DBYRNE 00000014 502223 12291221

01 FC:8821

48.00 DA

DO NOT USE THIS SPACE

9. Signature.

E. Eugene Thigpen

Name of Person Signing

E. Eugene Thigpen
Signature

November 7, 2008

Date

Total number of pages including cover sheet, attachments, and documents: 3

Mail documents to be recorded with required cover sheet information to:
Commissioner of Patents & Trademarks, Box Assignments
Washington, D.C. 20231

PATENT
REEL: 021868 FRAME: 0031

111

ASSIGNMENT

FOR GOOD AND VALUABLE CONSIDERATION, the receipt, sufficiency and adequacy of which are hereby acknowledged, the undersigned, does hereby:

SELL, ASSIGN AND TRANSFER to PGS Geophysical AS (the "Assignee"), having a place of business at Strandveien 4, N-1366, Lysaker, Norway, the entire right, title and interest in the application for United States Letters Patent which has been filed on November 7, 2008, and is entitled "METHOD FOR OPTIMIZING ENERGY OUTPUT FROM A SEISMIC VIBRATOR ARRAY" and for the United States and all other countries in and to all improvements which are disclosed in such application, and all divisional, continuing, substitute, renewal, reissue, provisional and all other applications for patent which have been or shall be filed in the United States and all other countries or international or regional patent offices on any of such improvements, all original and reissued patents which have been or shall be issued in the United States and all other countries or regional or international patent offices on such improvements, and specifically including the right to file applications in other countries or international or regional patent offices under the provisions of any convention or treaty and claim priority based on such United States application;

AUTHORIZE AND REQUEST the issuing authority to issue any and all United States and other patents granted on such improvements to the Assignee;

WARRANT AND COVENANT that no assignment, grant, mortgage, license or other agreement affecting the rights and property herein conveyed has been or will be made to others by the undersigned, and that the full right to convey the same as herein expressed is possessed by the undersigned;

COVENANT, when requested and at the expense of the Assignee, to carry out in good faith the intent and purpose of this assignment, the undersigned will execute all divisional, continuing, substitute, renewal, reissue, and all other patent applications on any and all such improvements; execute all rightful oaths, declarations, assignments, powers of attorney and other papers; communicate to the Assignee all facts known to the undersigned relating to such improvements and the history thereof; and generally do everything possible which the Assignee

112

shall consider desirable for vesting title to such improvements in the Assignee, and for securing, maintaining and enforcing proper patent protection for such improvements;

TO BE BINDING on the heirs, assigns, representatives and successors of the undersigned and extend to the successors, assigns and nominees of the Assignee.

Signature: Stig Rune Lennart Tenghamn Date: November 7, 2008
Name: **Stig Rune Lennart Tenghamn**

STATE OF TEXAS)
) ss.
COUNTY OF HARRIS)

BEFORE ME, the undersigned authority, on this 7th day of November 2008, personally appeared **Stig Rune Lennart Tenghamn**, known to me to be the person whose name is subscribed to the foregoing instrument and acknowledged to me that he executed the same of his own free will for the purposes and consideration therein expressed.



[SEAL]

Sonja M. Cox
Notary

114

TRADUCCIÓN OFICIAL NO. 843/2009.

EL TEXTO QUE SIGUE ES TRADUCCIÓN FIEL Y COMPLETA DE UN DOCUMENTO ESCRITO EN INGLES. LLEVA LA FIRMA Y EL SELLO DE HELENA URIBE DE LEMOINE, TRADUCTORA E INTÉRPRETE OFICIAL POR RESOLUCIÓN NO. 3618 DEL MINISTERIO DE JUSTICIA DE COLOMBIA, DE FECHA 6 DE SEPTIEMBRE, 1972.

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

A TODOS A QUIENES LOS PRESENTES LLEGUEN, SALUDOS:

**DEPARTAMENTO DE COMERCIO DE LOS ESTADOS UNIDOS
OFICINA DE MARCAS COMERCIALES Y PATENTES
DE LOS ESTADOS UNIDOS**

28 de Agosto de 2009

POR MEDIO DEL PRESENTE CERTIFICAMOS QUE EL DOCUMENTO
ADJUNTO ES UNA COPIA FIDEDIGNA Y CORRECTA DEL DOCUMENTO
REGISTRADO EL 7 DE NOVIEMBRE, 2008.

POR AUTORIZACIÓN DEL SUB-SECRETARIO DE COMERCIO PARA LA
PROPIEDAD INTELECTUAL Y DIRECTOR DE LA OFICINA DE MARCAS
COMERCIALES Y PATENTES DE LOS ESTADOS UNIDOS.

FIRMADO: GLORIA A. MURRAY, FUNCIONARIO CERTIFICADOR

HAY SELLO DE LA OFICINA DE MARCAS COMERCIALES Y PATENTES DE
LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA.



115

TRADUCCIÓN OFICIAL NO. 843/2009.

APOSTILLA

CONVENIO DE LA HAYA DEL 5 DE OCTUBRE DE 1961

1. PAÍS: ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

EL PRESENTE DOCUMENTO PÚBLICO

2. HA SIDO FIRMADO POR: **GLORIA A. MURRAY**
3. ACTUANDO EN SU CAPACIDAD DE: FUNCIONARIO CERTIFICADOR
4. LLEVA EL SELLO DE: OFICINA DE PATENTES Y MARCAS
COMERCIALES DE LOS ESTADOS UNIDOS

CERTIFICADO

5. EN: WASHINGTON, D.C.
6. EL: 2 DE SEPTIEMBRE DE 2009
7. POR: FUNCIONARIO ASISTENTE DE AUTENTICACIONES
DEPARTAMENTO DE ESTADO, ESTADOS UNIDOS
8. BAJO EL NO.: 09037754-1
9. SELLO: DEPARTAMENTO DE ESTADO, ESTADOS UNIDOS DE
AMÉRICA
10. FIRMADO: PATRICK O. HATCHETT

LA TRADUCTORA OFICIAL

Helena Uribe de Lemoine
HELENA URIBE DE LEMOINE



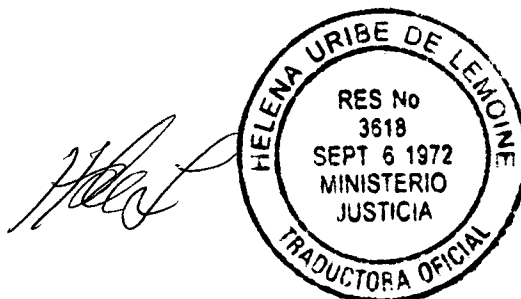
116

TRADUCCIÓN OFICIAL NO. 843/2009.

Forma PTO-1595 (Rev 10/02) omb No. 0651-0027 (vence	HOJA DE CUBIERTA DE FORMULARIO DE REGISTRO DE CESIONES ÚNICAMENTE PARA PATENTES 11-20-2008 103535868	DEPARTAMENTO DE COMERCIO DE LOS ESTADOS UNIDOS Oficina de Patentes y Marcas Registradas de los Estados Unidos Expediente: No. 056369-1450
Al Director de la oficina de Patentes y Marcas Registradas de los Estados Unidos: favor registrar los documentos originales adjuntos o copias de los mismos		
1. Nombre de las partes Cedentes: STIG RUNE LENNART TENGHAMN	2. Nombre y dirección de la parte receptora Nombre: PGS GEOPHYSICAL AS Dirección: Strandveien 4 N-1366 Lysaker, Norway Ciudad: Ver arriba ¿Hay nombres y direcciones adicionales adjuntas? NO	
3. Naturaleza del traspaso: ☒ CESION Fecha de Ejecución: 11/07/2008		
4. Número de solicitud o número de patente: Si este documento está siendo radicado conjuntamente con una nueva solicitud, la fecha de ejecución de la solicitud es: 11/07/2008 A. Solicitud de patente No. B. Registro de patente No. – Números. Adicionales adjuntos: NO		
5. Nombre y dirección de la parte a quien debe dirigirse la correspondencia concerniente al documento: E. EUGENE THIGPEN PETROLEUM GEO – SERVICES, INC. 15150 MEMORIAL DRIVE CIUDAD: HOUSTON; ESTADO: TEXAS ZIP: 77079	6. Número total de solicitudes y patentes involucradas: 1 7. Total Derechos: (37 CFR 3.41) US\$40 ☒ Cargar a nuestra cuenta de ahorros 8. No. Cuenta de Ahorros: 50-2223 para PGS-08-10US	
NO UTILICE ESTE ESPACIO		
9. Declaración y firma: Nombre de la persona: E. EUGENE THIGPEN Registro No. 26,314 Firmado: E. EUGENE THIGPEN Fecha: 7 DE NOVIEMBRE, 2008 Número total de páginas incluyendo la hoja de cubierta, anexos y documentos: 3		

PATENTE

ROLLO: 021868 MICROFICHA: 0031



117

TRADUCCIÓN OFICIAL NO. 843/2009.

CESIÓN

POR BUENA Y VALIOSA CONTRAPRESTACIÓN, cuya recepción y satisfacción se declaran en la presente, el abajo firmante, por medio del presente:

VENDE, CEDE Y TRANSFIERE a **PGS GEOPHYSICAL AS** (el "Cesionario"), con domicilio en Strandveien 4, N-1366, Lysaker, Noruega, la totalidad de los derechos, títulos e intereses sobre la solicitud de Patente en los Estados Unidos de América que fue radicada el día 7 de noviembre de 2008 y que se titula **"MÉTODO PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE UN CONJUNTO DE VIBRADORES SÍSMICOS"** y, para los Estados Unidos y todos los demás países, los derechos, títulos e intereses sobre todas las mejoras que se divulguen sobre su aplicación y sobre todas las solicitudes divisionales y de continuación, sustitución, renovación, reemisión, provisionales y todas las demás solicitudes de patente que han sido o sean radicadas en los Estados Unidos y en todos los demás países o en las oficinas regionales o internacionales de patentes con relación a dichas mejoras, y específicamente el derecho a radicar solicitudes en otros países o en otras oficinas regionales o internacionales de patentes bajo las estipulaciones de cualquier convenio o acuerdo y a reclamar prioridad con base en dicha solicitud radicada en los Estados Unidos;

AUTORIZA Y SOLICITA a la autoridad emisora para emitir todas y cada una de las patentes de los Estados Unidos y demás patentes sobre tales mejoras al Cesionario;

GARANTIZA Y DECLARA que el abajo firmante no ha cedido, otorgado, hipotecado, dado en licencia o realizado ningún otro acuerdo con otros, ni lo hará, que pueda afectar los derechos y la propiedad que se ceden por medio del presente, y que el abajo firmante tiene pleno derecho para ceder estos derechos que aquí se mencionan;



178

TRADUCCIÓN OFICIAL NO. 843/2009.

ACUERDA, cuando así se le solicite y por cuenta del Cesionario, con el fin de que se cumpla de buena fe con los propósitos de esta cesión, el suscrito ejecutará todas las solicitudes de patentes sean estas divisionales, de continuación, sustitución, renovación o reemisión, y todas las demás solicitudes de patentes que sean emitidas con relación a dichas mejoras; ejecutar todos los juramentos, declaraciones, poderes y demás documentos; y comunicar al Cesionario todas los hechos que lleguen a su conocimiento relativos a dichas mejoras y la historia de las mismas; y, en general, hacer todo cuanto esté a su alcance para traspasar el título de dichas mejoras al Cesionario y para garantizar, mantener y reforzar la protección adecuada de las patentes para dichas mejoras.

Y SE COMPROMETE con sus herederos, cesionarios, representantes y sucesores del suscrito y extiende estos beneficios a los sucesores, cesionarios y designados del Cesionario.

FIRMADO: STIG RUNE LENNART TENGHAMN
FECHA: 7 DE NOVIEMBRE DE 2008

ESTADO DE TEXAS - CONDADO DE HARRIS

EL 7 de Noviembre de 2008, ante mí, la autoridad abajo firmante, compareció STIG RUNE LENNART TENGHAMN, a quien conozco personalmente como la persona cuyo nombre suscribe el anterior instrumento y reconoció que ejecutó dicho instrumento como su acto libre y voluntario y para los fines y objetos allí expresados.

Firmado: SONJA M. COX, NOTARIO
Con comisión hasta el 3 de Febrero de 2011. HAY SELLO DE NOTARIO

REGISTRADO EL 11/07/2008

CESIÓN
PGS-08-10US

PATENTE

ROLLO: 021868 MICROFICHA: 0031

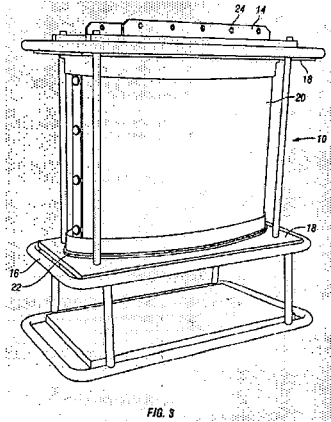


Industria y Comercio SUPERINTENDENCIA		SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO DIVISION DE NUEVAS CREACIONES EXTRACTO PARA PUBLICACIÓN SOLICITUD DE PATENTE DE INVENCION	
(21) N° de solicitud:		(51) Int Cl: G01V 001/000	
22) Fecha de solicitud:		(71) Solicitante(s) PGS GEOPHYSICAL AS	
(30) Prioridad	(31) No. Priodidad	(32) Fecha	(33) País
	12/291,221	07/11/2008	US
		(72) Inventor(es) STIG RUNE LENNART TENGHAMN	
		(74) Apoderado: LUZ CLEMENCIA DE PÁEZ	
(54) Titulo: MÉTODO PARA OPTIMIZAR LA SÁLIDA DE ENERGÍA DE UN ARREGLO DE VIBRADORES SÍSMICOS			

Reivindicaciones:

1. Un método para generar energía sísmica para la exploración sub-superficial que comprende:
Operar un primer vibrador sísmico en un cuerpo de agua y;
Operar al menos un segundo vibrador sísmico en el cuerpo de agua de forma sustancialmente contemporánea con la operación del primer vibrador sísmico, el primero y el segundo vibradores sísmicos tienen cada uno una diferente respuesta de frecuencia seleccionada, el primero y segundo vibradores operados cada uno a una profundidad de agua tal que un eco de superficie amplifica una salida descendente de cada vibrador dentro de un rango de frecuencias seleccionado, el primero y segundo vibradores excitados cada uno por una señal que tiene una frecuencia correspondiente a la respuesta de frecuencia del vibrador respectivo.
2. El método de la reivindicación 1 donde la señal de control comprende un barrido.
3. El método de la reivindicación 1 donde la señal de control para cada vibrador comprende un código de espectro expandido de secuencia dividida.
4. El método de la reivindicación 3 donde el código comprende por lo menos una secuencia de longitud máxima, una secuencia Gold y una secuencia Kasami.
5. El método de la reivindicación 1 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia en una banda de frecuencias seleccionada.
6. El método de la reivindicación 1 que comprende adicionalmente la detección de señales sísmicas en una pluralidad de locaciones espaciadas y la determinación de porciones de las señales sísmicas detectadas originadas del primer vibrador sísmico y del al menos segundo vibrador sísmico.
7. El método de la reivindicación 1 donde un tiempo de actuación de cada vibrador corresponde a la profundidad a la cual es operado cada vibrador de forma que el primero y al menos un segundo vibrador actúen como un arreglo de vibradores.
8. El método de la reivindicación 1 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia dentro de un rango correspondiente a su respuesta de frecuencia.

9. Un método de exploración marina que comprende:
La operación de un arreglo de vibradores sísmicos en un cuerpo de agua, el arreglo incluye una pluralidad de vibradores sísmicos, cada uno de los cuales posee una frecuencia de respuesta diferente seleccionada, los vibradores son operados cada uno a una profundidad de agua tal que un eco de superficie amplifica una salida descendente de cada vibrador dentro de un rango de frecuencias seleccionadas, una señal usada para excitar a cada vibrador, correspondiente a la respuesta de frecuencia de cada vibrador y;
la detección de señales sísmicas originadas del arreglo en cada uno de una pluralidad de receptores sísmicos dispuestos en locaciones espaciadas.
10. El método de la reivindicación 9 donde la señal de control para cada vibrador comprende un barrido.
11. El método de la reivindicación 9 donde la señal de control para cada vibrador comprende un código de espectro expandido de secuencia directa.
12. El método de la reivindicación 11 donde el código comprende al menos una de entre una secuencia de longitud máxima, una secuencia Gold y una secuencia Kasami.
13. El método de la reivindicación 9 donde cada vibrador tiene al menos dos frecuencias de resonancia en una banda de frecuencias seleccionada.
14. El método de la reivindicación 9 que comprende adicionalmente la detección de señales sísmicas en una pluralidad de locaciones espaciadas y la determinación de las porciones de las señales sísmicas detectadas originadas desde el primer y el al menos segundo vibradores sísmicos.



120

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 09 - 80,182
FECHA : OCTUBRE 26 DE 2009

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 09-121148- -00000-0000

Fecha: 2009-10-28 09:58:10 Dep. 2020 NUECREACIONE
Tra. 2 PATENTES Eve: 1 REGDEPOSITO
Act. 411 PRESENTACION Folios: 122

***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PGO	Vr. PAGO
CAVELIER ABOGADOS	CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	130928151	26/10/2009	29,860,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01 SOLICITUDES	1 TRAMITES DE SOL. DE PATENTE DE IN	540,000.00
TOTAL :			\$ 540,000.00

SON: QUINIENTOS CUARENTA MIL PESOS

RESPONSABLE :

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

0010:17284-801-001-0

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 09 - 77,163
FECHA : OCTUBRE 13 DE 2009

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 09-121148-00000-0000

Fecha: 2009-10-28 09:58:10 Dep. 2020 NUECREACIONE
Tra. 2 PATENTES Eve: 1 REGDEPOSITO
Act. 411 PRESENTACION Folios: 122

***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PGO	Vr. PAGO
CAVELIER ABOGADOS	CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	130928140	13/10/2009	15,516,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01 SOLICITUDES	83 INVOCACION DE UNA PRIORIDAD EN SI	151,000.00
TOTAL :			\$ 151,000.00

SON: CIENTO CINCUENTA Y UNO MIL PESOS

RESPONSABLE :

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

COLO 117284-801-001-0

122

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT : 800176089-2

RECIBO OFICIAL DE CAJA : 09 - 80,211
FECHA : OCTUBRE 26 DE 2009

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 09-121148- -00000-0000

Fecha: 2009-10-28 09:58:10 Dep. 2020 NUECREACIONE
Tra. 2 PATENTES Eve: 1 REGDEPOSITO
Act. 411 PRESENTACION Folios: 122

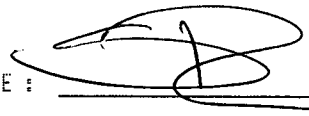
***** CONSIGNACION *****

DEPOSITANTE	TIPO PAGO	BANCO	CUENTA	No. PAGO	FECHA PGO	Vr. PAGO
CAVELIER ABOGADOS	CONSIGNACION	BANCO DE BOGOTA	062754387	130928151	26/10/2009	29,860,000.00

***** CONCEPTO *****

CANT.	RENTISTICO	CONCEPTO	TOTAL CONCEPTO
1	50005-01-01	SOLICITUDES	
		*** REIVINDICACION UNITARIA ADICIONAL	25,000.00
		TOTAL :	\$ 25,000.00

SON: VEINTICINCO MIL PESOS

RESPONSABLE : 

RECIBO DE CAJA APLICADO AL EXPEDIENTE No. _____

0020: 177284-801-001-0.

**REQUISITOS MINIMOS PARA ADMISION A TRAMITE
PCT**

PATENTE DE INVENCION ☒

MODELO DE UTILIDAD ☐

- ◆ Indicación de que se solicita la concesión de una patente ☒
- ◆ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud ☒
- ◆ Descripción de la invención ☒
- ◆ Dibujos de ser estos pertinentes ☒
- ◆ Comprobante de pago de las tasas establecidas ☒

COMPLETA ☒

INCOMPLETA ☐

DISEÑO INDUSTRIAL ☐

- ◆ Indicación de que se solicita el registro de Diseño Industrial ☐
- ◆ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud ☐
- ◆ Representación gráfica y fotográfica del Diseño Industrial o muestra del material que incorpora el diseño ☐
- ◆ Comprobante de pago de las tasas establecidas ☐

COMPLETA ☐

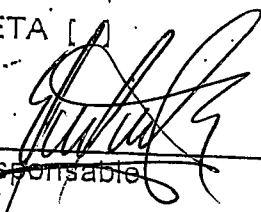
INCOMPLETA ☐

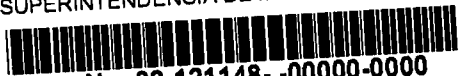
ESQUEMA DE TRAZADO ☐

- ◆ Indicación de que se solicita el registro de un Esquema de Trazado ☐
- ◆ Datos de identificación del solicitante o de la persona que presenta la solicitud ☐
- ◆ Representación gráfica del esquema trazado ☐
- ◆ Comprobante de pago de las tasas establecidas ☐

COMPLETA ☐

INCOMPLETA ☐

Firma Responsable 

F SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

No. 09-121148- -00000-0000
Fecha: 2009-10-28 09:58:10 Dep. 2020 NUECREACIONE
Tra. 2 PATENTES Eve. 1 REGDEPOSITO
Act. 411 PRESENTACION Folios: 122

Carrera 13 No. 27-00 Piso 5, 7 y 10
Conmutador: 3 82 08 40
Fax: 350 52 20
E-mail: Info@sic.gov.co
www.sic.gov.co
Bogotá, D.C., Colombia



Bogotá,
2020

124

Doctor(a)
SUAREZ DE PAEZ LUZ CLEMENCIA

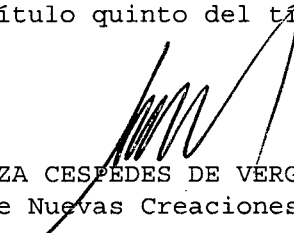
REFERENCIA Radicación No. 9 121148
 Trámite 2
 Evento 1
 Actuación 430
 Oficio No. 13351

Como resultado del examen de forma, realizado con fundamento en el artículo 38 de la Decisión 486 de la Comisión de la Comunidad Andina, se le comunica que:

1. Debe allegar el poder otorgado al abogado que aparece en la solicitud como apoderado, con el lleno de los requisitos exigidos en el Código de Procedimiento Civil. Adicionalmente, deberá presentar el documento que acredita la existencia y representación legal de la sociedad solicitante.

En cumplimiento del artículo 39 de la Decisión 486, se le requiere para que dentro del término de dos (2) meses siguientes a la fecha de notificación del presente oficio, complete los requisitos anteriormente enunciados. En caso de no dar cumplimiento al presente requerimiento, la solicitud se considerará abandonada y perderá su prelación.

Notifíquese el presente oficio conforme a lo dispuesto en el numeral 5.2, literal e), del capítulo quinto del título primero de la Circular Unica No.10 de 2001.


ALIX CARMENZA CESPEDES DE VERGEL
Directora de Nuevas Creaciones (c)

El anterior requerimiento fue notificado por fijación en lista de
fecha 26 NOV. 2009
adpall