



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1014889-2 B1



(22) Data do Depósito: 12/03/2010

(45) Data de Concessão: 16/03/2021

(54) Título: MÉTODO PARA ATENUAR ENERGIA FORA DE BANDA EMITIDA POR UMA FONTE SÍSMICA UTILIZADA EM UMA PESQUISA SÍSMICA MARINHA, E FONTE SÍSMICA PARA AQUISIÇÃO SÍSMICA MARINHA.

(51) Int.Cl.: G01V 1/38; G01V 1/137; G01V 1/133.

(30) Prioridade Unionista: 01/03/2010 US 12/714,820; 07/04/2009 US 61/167,454; 29/07/2009 US 61/229,448.

(73) Titular(es): GECO TECHNOLOGY B.V..

(72) Inventor(es): ROBERT LAWS; JON-FREDRIK HOPPERSTAD; JULIAN EDWARD KRACH.

(86) Pedido PCT: PCT US2010027102 de 12/03/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/117550 de 14/10/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 05/10/2011

(57) Resumo: MÉTODO PARA ATENUAR ENERGIA FORA DA BANDA EMITIDA POR UMA FONTE SÍSMICA UTILIZADA EM UMA PESQUISA SÍSMICA MARINHA, E FONTE SÍSMICA PARA AQUISIÇÃO SÍSMICA MARINHA. Trata-se de um método para atenuar energia fora de banda emitida por uma fonte sísmica utilizada em uma pesquisa sísmica marinha. O método inclui a disposição da fonte sísmica em um corpo de água e liberação de um gás em um volume de água em torno da fonte sísmica. O gás liberado pode ser configurado de tal forma, que ele desloque o volume de água em torno da fonte sísmica a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6$ metros cúbicos por segundo cúbico.

MÉTODO PARA ATENUAR ENERGIA FORA DE BANDA EMITIDA POR UMA
FONTE SÍSMICA UTILIZADA EM UMA PESQUISA SÍSMICA MARINHA, E
FONTE SÍSMICA PARA AQUISIÇÃO SÍSMICA MARINHA

Fundamentos

5 Campo da Invenção

Implementações de várias técnicas aqui descritas
geralmente se relacionam à exploração sísmica marinha.
Mais especificamente, elas se relacionam à atenuação de
energia fora de banda emitida por fontes sísmicas marinhas.

10 Descrição da Arte Relacionada

As seguintes descrições e exemplos não constituem
uma admissão pertencente à arte anterior, em virtude de sua
inclusão nesta seção.

Fontes sísmicas, tais como pistolas de ar
15 comprimido, geram um sinal de pressão utilizado em
exploração sísmica marinha. Pistolas de ar comprimido podem
ser descritas, como tendo uma câmara enchida com um gás
comprimido, que é liberado para a água circundante através
de orifício(s). Cada orifício é um canal, através do qual o
20 gás comprimido escapa da câmara e entra na água
circundante, criando assim um pulso acústico.

Pistolas de ar comprimido da arte anterior emitem
pulsos acústicos significativos, que têm grandes
amplitudes, formando energia acústica de alta frequência.
25 Energia acústica de alta frequência geralmente inclui

energia em frequências, que não são de uso para geração de imagens, e estão fora da faixa de frequências de interesse para exploração sísmica. Este sinal fora de banda é considerado ruído, e pode também afetar negativamente a vida marinha.

Assim, há a necessidade de encontrar formas para reduzir as amplitudes das frequências fora de banda emitidas por fontes sísmicas, tais como pistolas de ar comprimido.

10

Sumário

Implementações de várias técnicas e tecnologias para atenuar a energia fora de banda emitida por fontes sísmicas são aqui descritas. Em uma implementação, um método para atenuar energia fora de banda emitida por uma fonte sísmica utilizada em uma pesquisa sísmica marinha pode incluir a disposição da fonte sísmica em um corpo de água e liberação de um gás em um volume de água em torno da fonte sísmica. O gás liberado pode ser configurado de tal forma, que ele desloque o volume de água em torno da fonte sísmica a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6$ metros cúbicos por segundo cúbico.

O método acima descrito para atenuar a energia fora de banda emitida por uma fonte sísmica pode ser realizado, usando vários tipos de fontes sísmicas. Em uma implementação, a fonte sísmica pode incluir um cilindro externo, um cilindro interno, uma barra de eixo, um atuador

e um suprimento de gás. O cilindro interno pode ser disposto dentro do cilindro externo, de modo que a parede do cilindro externo interno fique nivelada com uma parede interna do cilindro externo. O cilindro externo e o cilindro interno podem ter uma ou mais aberturas de tal forma, que as aberturas do cilindro interno sejam configuradas para se alinhar com as aberturas do cilindro externo em várias posições de rotação do cilindro interno. A barra de eixo pode ser acoplada ao cilindro interno de tal forma, que ela possa rodar o cilindro interno. O atuador pode ser acoplado à barra de eixo de tal forma, que o atuador possa controlar a taxa de rotação do cilindro interno. O suprimento de gás pode ser acoplado ao cilindro interno de tal forma, que o suprimento de gás possa fornecer um gás comprimido dentro do cilindro interno. O gás comprimido pode ser, então, lançado em um corpo de água ao redor da fonte sísmica, quando as aberturas do cilindro interno se alinharem com as aberturas do cilindro externo. O gás comprimido liberado pode ser configurado para deslocar um volume de água em torno da fonte sísmica a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

Em outra aplicação, a fonte sísmica pode incluir um tambor, um pistão, um suprimento de gás, uma barra de eixo e um atuador. O pistão pode ser disposto dentro do tambor, e o suprimento de gás pode ser acoplado ao tambor. O suprimento de gás pode ser configurado para fornecer um gás

à pressão ambiente dentro do tambor. A barra de eixo pode ser acoplada ao pistão, tal que a barra de eixo seja configurada para mover o pistão dentro do tambor. O atuador pode ser acoplado à barra de eixo de tal forma, que o
5 atuador controle o movimento axial do pistão. O movimento axial do pistão pode ser usado para comprimir o gás à pressão atmosférica dentro do tambor, e liberar o gás comprimido dentro de um volume de água ao redor do tambor. O gás comprimido liberado pode ser configurado para
10 deslocar esse volume de água em torno do tambor a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

Em outra aplicação ainda, a fonte sísmica pode incluir um tambor, um acendedor, uma fonte de mistura e um atuador. O acendedor e a fonte de mistura podem ser
15 acoplados na base do tambor. A fonte de mistura pode fornecer uma mistura combustível à base do tambor. O atuador pode ser acoplado ao acendedor, e pode controlar a ignição do acendedor. A ignição do acendedor pode causar a combustão da mistura combustível de tal forma, que a
20 mistura combustível queimada possa deslocar um volume de água em torno do tambor a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

Em outra aplicação ainda, a fonte sísmica pode incluir um alojamento, um ou mais orifícios acoplados ao
25 alojamento, e um ou mais tubos radiais acoplados aos orifícios. O alojamento pode conter gás comprimido, que

pode ser liberado dentro de um corpo de água ao redor da fonte sísmica, através dos orifícios. Os tubos radiais podem ser projetados para restringir a liberação do gás comprimido para dentro do corpo de água de tal forma, que
5 um volume de água em torno da fonte sísmica escoe a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

A seção do Sumário acima referenciada é apresentada para introduzir uma seleção de conceitos, de uma forma simplificada, que são abaixo descritos na seção da
10 Descrição Detalhada. O Sumário não se destina a identificar as características-chave ou características essenciais da matéria reivindicada, nem é destinada a ser usada para limitar o escopo da matéria reivindicada. Além disso, a
matéria reivindicada não se limita a implementações, que
15 resolvam qualquer um ou todos os inconvenientes observados em qualquer parte dessa divulgação.

Breve Descrição dos Desenhos

Implementações de várias técnicas serão aqui descritas a seguir com referência aos desenhos anexos. Deve
20 ser entendido, no entanto, que os desenhos anexos apenas ilustram as várias implementações aqui descritas, e não são destinados a limitar o âmbito de várias técnicas aqui descritas.

A figura 1 ilustra um fluxograma de um método para
25 atenuar energia fora de banda emitida por uma fonte

sísmica, de acordo com as implementações de várias técnicas aqui descritas.

A figura 2 ilustra um gráfico de um formato de pulso de pressão primária desejada, em comparação com
5 exemplos de formatos de pulsos de pressão primária de fontes sísmicas da técnica anterior, de acordo com as implementações de várias técnicas aqui descritas.

A Figura 3 mostra um gráfico usado para calcular uma inclinação média ascendente de um pulso de pressão
10 primária, de acordo com as implementações de várias técnicas aqui descritas.

A Figura 4 ilustra uma fonte sísmica de válvula rotativa para atenuar a energia fora de banda por ela emitida, de acordo com implementações de várias técnicas
15 aqui descritas.

A Figura 5 ilustra uma fonte sísmica de pistão a gás para atenuar a energia fora de banda por ela emitida, de acordo com implementações de várias técnicas aqui descritas.

20 A Figura 6 ilustra uma fonte sísmica de combustão controlada para atenuar a energia fora de banda por ela emitida, de acordo com implementações de várias técnicas aqui descritas.

A Figura 7 ilustra um tubo radial acoplado a uma
25 fonte sísmica para atenuar a energia fora de banda emitida

pela fonte sísmica, de acordo com as implementações de várias técnicas aqui descritas.

Descrição Detalhada

A discussão a seguir é direcionada para certas
5 implementações específicas. É preciso entender que a discussão a seguir é apenas para fins de permitir que uma pessoa com habilidade comum na arte faça uso de qualquer assunto, agora ou mais tarde definido pelas "reivindicações" de patente encontradas em qualquer patente
10 aqui emitida.

Os parágrafos a seguir fornecem uma breve descrição de uma ou mais implementações de várias tecnologias e técnicas dirigidas a atenuar a energia fora de banda emitida por uma fonte sísmica. Em uma implementação, a
15 energia fora de banda emitida por uma fonte sísmica pode ser atenuada pela disposição da fonte sísmica em um corpo de água e envio de um comando para a fonte sísmica, para liberar um gás dentro do corpo de água de tal forma, que o volume de água em torno da fonte sísmica seja deslocado
20 pelo gás liberado a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6$ metros cúbicos por segundos cúbicos (m^3/s^3). Ao limitar a taxa, na qual o volume de água é deslocado pelo gás liberado pela fonte sísmica, a energia fora de banda emitida pela fonte sísmica é efetivamente atenuada.

25 Em outra aplicação, uma fonte sísmica de válvula

banda por ela emitida, de acordo com o processo acima descrito. A fonte sísmica de válvula rotativa pode incluir um cilindro externo fixo, um cilindro interno rotativo, uma barra de eixo acoplada ao cilindro interno, um atuador
5 acoplado à barra de eixo, e um suprimento de gás externo acoplado a uma câmara dentro do cilindro interno. O cilindro interno pode ser nivelado com o cilindro externo, de tal modo que ar não possa existir entre os dois cilindros. Ambos os cilindros podem incluir uma ou mais
10 janelas de cilindro (isto é, janelas de cilindro externo e janelas de cilindro interno). As janelas de cilindro interno e as janelas de cilindro externo podem ser do mesmo tamanho e formato, e podem coincidir entre si, quando o cilindro interno for girado para uma posição específica em
15 relação ao cilindro externo. A barra de eixo pode girar o cilindro interno em um movimento circular em torno da barra de eixo de tal forma, que as janelas de cilindro interno possam coincidir com as janelas de cilindro externo em várias posições durante a rotação do cilindro interno. A
20 taxa, na qual o cilindro interno gira (ou seja, velocidade de rotação), pode ser controlada pelo atuador. O suprimento de gás externo pode fornecer um gás comprimido para a câmara do cilindro interno.

No intuito de atenuar a energia fora de banda
25 emitida pela fonte sísmica de válvula rotativa, de acordo com o processo acima descrito, a fonte sísmica de válvula

rotativa pode ser primeiramente disposta em um corpo de água e, depois, seu cilindro interno pode ser girado, de modo que o gás comprimido dentro da câmara do cilindro interno possa ser liberado, quando a janela do cilindro interno coincidir com a janela do cilindro externo. Ao controlar a taxa de rotação do cilindro interno, a fonte sísmica de válvula rotativa pode controlar a velocidade, com que o volume de água em torno da fonte sísmica de válvula rotativa é deslocado pelo gás comprimido lançado pela fonte sísmica de válvula rotativa. A taxa de rotação do cilindro interno pode ser configurada de tal forma, que o volume de água deslocado pelo gás liberado seja a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

Em outra aplicação ainda, uma fonte sísmica de pistão a gás pode ser usada para atenuar a energia fora de banda por ela emitida, de acordo com o processo acima descrito. A fonte sísmica de pistão a gás inclui um tambor, um pistão, uma barra de eixo acoplada ao pistão, um atuador acoplado à barra de eixo e um suprimento de gás externo acoplado a uma porção interior do tambor. O tambor pode ser um cilindro que tem uma extremidade aberta. O pistão pode caber dentro do tambor de tal forma, que fique nivelado com o tambor e possa se mover ao longo da barra de eixo dentro do tambor. O atuador pode controlar o movimento axial do pistão através da barra de eixo. O atuador também pode controlar a velocidade, com que o pistão possa se mover.

Essa taxa pode ser referida como o deslocamento axial do pistão em função do tempo. O suprimento de gás externo pode proporcionar um gás de baixa pressão para a parte interior do tambor.

5 No intuito de atenuar a energia fora de banda emitida pela fonte sísmica de pistão a gás, de acordo com o processo acima descrito, a fonte sísmica de pistão a gás pode ser primeiramente disposta em um corpo de água de tal forma, que a extremidade aberta do tambor seja
10 primeiramente disposta dentro do corpo de água. Antes da fonte sísmica de pistão a gás ser disposta no corpo de água, o pistão pode ser posicionado longe da abertura do tambor. Após a fonte sísmica de pistão a gás ser disposta no corpo de água, o suprimento de gás externo pode fornecer
15 um gás à pressão atmosférica à parte interior do tambor. O gás à pressão atmosférica pode permanecer dentro do tambor e se separar do corpo de água, com base em suas características de flutuação. A linha entre o gás à pressão atmosférica e o corpo de água pode ser referida como a
20 interface de gás/ água. O atuador pode, então, enviar um comando para a barra de eixo, para movimentar o pistão até a interface de gás/ água. Desta forma, o pistão pode empurrar o gás à pressão ambiente contra a interface de gás/ água. Ao empurrar o gás à pressão ambiente contra a
25 interface de gás/ água, a fonte sísmica de pistão a gás pode comprimir o gás à pressão atmosférica e liberar o gás

comprimido dentro do corpo de água. Em uma implementação, o gás comprimido liberado no corpo de água pode deslocar o volume de água em torno da fonte sísmica de pistão a gás. A taxa, em que o volume de água em torno da fonte sísmica de pistão a gás é deslocado pelo gás liberado, pode ser controlada pelo deslocamento axial do pistão em função do tempo. Assim, o deslocamento axial do pistão em função do tempo pode ser configurado, de modo que a taxa do volume de água deslocado pelo gás liberado seja inferior a $2,9 \times 10^6$ m³/s³.

Em outra aplicação ainda, uma fonte sísmica de combustão controlada pode ser usada para atenuar a energia fora de banda por ela emitida, de acordo com o processo acima descrito. A fonte sísmica de combustão controlada inclui um tambor, uma vela de ignição acoplada à base do tambor, um atuador acoplado à vela de ignição, e um fornecimento de combustível/ oxidante externo acoplado à base do tambor. Aqui, o tambor pode incluir uma extremidade aberta e pode ser moldado como um cone, um sino, ou coisas do gênero. O fornecimento de combustível/ oxidante externo pode fornecer um oxidante/ combustível à base do tambor, que pode ser uma mistura combustível de líquido ou gás, que tenha uma taxa de queima conhecida.

No intuito de atenuar a energia fora de banda emitida pela fonte sísmica de combustão controlada, de acordo com o processo acima descrito, a fonte sísmica de

combustão controlada pode ser primeiramente disposta em um corpo de água de tal forma, que a extremidade aberta do tambor seja primeiramente disposta no corpo de água. O fornecimento de combustível/ oxidante externo pode, então, encher a base do tambor com o combustível/ oxidante. O oxidante/ combustível pode permanecer na base do tambor e se separar do corpo de água, com base nas suas propriedades de densidade. Após a fonte sísmica de combustão controlada ser disposta no corpo de água, o atuador pode enviar um comando para a vela de ignição, para inflamar o combustível/ oxidante. Em resposta à vela acender o oxidante/ combustível, o combustível/ oxidante pode queimar em um gás em expansão. O gás em expansão pode ser, então, liberado no volume de água em torno da fonte sísmica de combustão controlada, e deslocar o volume de água em torno da fonte sísmica de combustão controlada. A taxa, em que o volume de água em torno da fonte sísmica de combustão controlada é deslocado pelo gás em expansão, pode ser controlada pela taxa de queima do combustível/ oxidante e o formato do tambor. Assim, o oxidante/ combustível pode ser selecionado, e o formato do tambor pode ser configurado, de modo que a taxa do volume de água deslocado pelo gás em expansão liberado pela fonte sísmica de combustão controlada seja inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

Em outra implementação ainda, um tubo radial pode ser acoplado a um a fonte sísmica para atenuar a energia

fora de banda emitida pela fonte sísmica, de acordo com o processo acima descrito. O tubo radial inclui um cilindro quadrado e um sino acoplado ao cilindro quadrado. Em uma implementação, o cilindro quadrado pode ser configurado para ser acoplado a um orifício de uma fonte sísmica, de forma que o tubo radial possa efetivamente se tornar parte integrante da fonte sísmica.

No intuito de atenuar a energia fora de banda emitida por uma fonte sísmica, de acordo com o processo acima descrito, um tubo radial pode ser acoplado a cada orifício da fonte sísmica. A fonte sísmica pode, então, ser disposta em um corpo de água. Quando a fonte sísmica é disposta no corpo de água, os tubos radiais podem ser cheios com água. Após a fonte sísmica ser disposta no corpo de água, a fonte sísmica pode liberar um gás comprimido por meio de seus orifícios. À medida que o gás comprimido é liberado através dos orifícios da fonte sísmica, o gás comprimido pode primeiramente soprar a água para fora dos tubos radiais, antes dela liberar o gás comprimido dentro do corpo de água para fora dos tubos radiais. Desta forma, a massa de água dentro dos tubos radiais pode fazer com que a expansão inicial do gás comprimido, lançado a partir do orifício da fonte sísmica para dentro do corpo de água, ocorra mais lentamente. Ao fazer com que a expansão inicial do gás comprimido a partir do orifício ocorra mais lentamente, os tubos radiais podem limitar o deslocamento

do volume de água em torno da fonte sísmica a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$. Como resultado, os tubos radiais podem reduzir a inclinação da borda ascendente do pulso de pressão emitido pela fonte sísmica, atenuando a energia fora de banda, que a fonte sísmica emite dentro do corpo de água.

Uma ou mais implementações de várias técnicas e aparelhos para atenuar a energia fora de banda emitida por uma fonte sísmica serão agora descritas em mais detalhes com referência às figuras 1-7 nos parágrafos seguintes.

A figura 1 ilustra um fluxograma de um método para atenuar energia fora de banda emitida por uma fonte sísmica, de acordo com as implementações de várias técnicas aqui descritas. Como mencionado acima, fontes sísmicas convencionais costumam emitir amplitude acústica significativa (isto é, energia de alta frequência), que está fora da faixa de frequências de interesse para exploração sísmica. Este fenômeno é geralmente devido ao deslocamento repentino do volume de água que circunda a fonte sísmica convencional. Por exemplo, pistolas de ar comprimido sísmicas marinhas produzem um pulso sonoro por liberação instantânea de um volume de ar comprimido em um corpo de água. Geralmente, esses tipos de pistolas de ar comprimido sísmicas marinhas foram projetadas para liberar ar o mais rápido possível, sem levar em conta os possíveis efeitos ambientais das amplitudes acústicas de alta

frequência emitidas no corpo de água. Na verdade, pistolas de ar comprimido foram projetadas para liberar ar o mais rapidamente possível, de forma que ele possa emitir um pulso acústico com a máxima amplitude possível. Esta rápida
5 liberação de ar corresponde a uma borda ascendente muito íngreme em um pulso de pressão primária recebido pelo corpo de água. O aumento acentuado no pulso de pressão primária tem sido atribuído à origem da energia de alta frequência (ou seja, sinal fora de banda) que está além da faixa de
10 frequências de interesse para imagens sísmicas. Essa energia de alta frequência geralmente inclui som desnecessário, que pode ser perturbador para os animais marinhos no corpo de água.

A energia fora de banda (ou seja, de alta
15 frequência) criada no corpo de água pelas fontes sísmicas, no entanto, pode ser atenuada através da diminuição da taxa, em que o volume de água, que circunda a fonte sísmica, é deslocado pelo gás liberado. Em uma implementação, a taxa, na qual o volume de água, que
20 circunda a fonte sísmica, é deslocado pelo gás liberado, pode corresponder a uma inclinação ascendente de um pulso de pressão recebido pelo corpo de água. Detalhes adicionais relativos ao pulso de pressão recebido pelo corpo de água serão descritos a seguir com referência à Figura 2.

25 Na etapa 110, uma fonte sísmica pode ser disposta em um corpo de água. Em uma implementação, o corpo de água

pode fazer parte de uma área de pesquisa sísmica marinha, onde a fonte sísmica pode ser usada para localizar hidrocarbonetos em formações subterrâneas da terra. A fonte sísmica pode incluir qualquer fonte sísmica do tipo marinho, que libera gás para um corpo de água de tal forma que, o gás possa deslocar um volume de água em torno da fonte sísmica.

Na etapa 120, um comando pode ser enviado para a fonte sísmica disposta no corpo de água para liberar um gás dentro do corpo de água de tal forma, que o volume de água em torno da fonte sísmica seja deslocado pelo gás liberado a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6$ metros cúbicos por segundos cúbicos (m^3/s^3). Em uma implementação, a taxa, na qual o volume de água em torno da fonte sísmica é deslocado pelo gás liberado, pode ser medida, de acordo com um terceiro diferencial do volume da água deslocado pelo gás liberado pela fonte sísmica em relação ao tempo (ou seja, d^3V/dt^3). O terceiro diferencial do volume da água deslocado pelo gás liberado pela fonte sísmica em relação ao tempo pode ser descrito como a taxa, na qual a pressão acústica no corpo da água muda ao longo do tempo. Ao limitar a taxa, na qual o volume de água em torno da fonte sísmica é deslocado pelo gás liberado para menos de $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$, o método 100 pode atenuar as amplitudes acústicas fora de banda a serem emitidas para o corpo de água. Em uma implementação, a taxa, na qual o volume de água é deslocado pelo gás

liberado é entre $0,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$ e $1,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$, como mostrado na equação abaixo.

$$\frac{d^3V}{dt^3} \in [0.6 \cdot 10^6, 1.8 \cdot 10^6] \text{metres}^3/\text{second}^3$$

Em contraste, fontes sísmicas convencionais tipicamente
5 deslocam o volume de água a uma taxa superior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$. Consequentemente, essas fontes sísmicas convencionais muitas vezes emitem amplitudes acústicas fora de banda para dentro do corpo de água.

Em uma implementação, o terceiro diferencial em
10 relação ao tempo do volume da água deslocado pelo gás liberado pode ser medido através do cálculo da inclinação do segundo diferencial em relação ao tempo, ou seja, a inclinação da aceleração do volume de água deslocado pelo gás liberado em relação ao tempo. Uma equação para a
15 pressão acústica monopolar de uma bolha de gás esférica em um líquido incompressível pode ser usada para calcular a inclinação da aceleração do volume em relação ao tempo. Essa equação pode ser usada para determinar a aceleração do volume de água ao redor da fonte sísmica, que é necessária
20 para emitir um pulso acústico da fonte sísmica, que tem amplitudes acústicas atenuadas. A equação para a pressão acústica monopolar de uma bolha de gás esférica em um líquido incompressível pode ser expressa como:

$$P_{NS} = \frac{\rho_w}{4\pi} \cdot \frac{d^2V}{dt^2} \quad (\text{Equação 1})$$

A pressão acústica monopolar, P_{NS} , é também referida como a assinatura da fonte ideal. Além disso, ρ_w , é a densidade da água circundante e, V , é o volume de água deslocado. O
 5 segundo diferencial de tempo em relação ao volume deslocado é referido como a "aceleração de volume". Detalhes adicionais relativos ao cálculo da inclinação da aceleração do volume em relação ao tempo serão descritos a seguir, com referência à Figura 3.

10 A Figura 2 ilustra um gráfico 200 de um formato de pulso de pressão primária desejado em comparação com exemplos de formatos de pulso de pressão primária de fontes sísmicas da técnica anterior, de acordo com as implementações de várias técnicas aqui descritas. Como
 15 mencionado acima, fontes sísmicas convencionais emitem amplitude significativa (isto é, energia de alta frequência) fora da faixa de frequências de interesse para exploração sísmica. A Figura 2 mostra o formato do pulso de pressão primária de três pistolas de ar comprimido
 20 comerciais da arte anterior, que emitem amplitude significativa fora da faixa de frequências de interesse para exploração sísmica. Os pulsos de pressão primária das pistolas de ar comprimido comerciais da arte anterior são indicados no gráfico 200 como linhas tracejadas (ou seja,

curva 220, curva 230 e curva 240). A curva 220 é um pulso de pressão primária para uma pistola de ar comprimido tipo *sleeve Input Output*® da arte anterior. A curva 230 é um pulso de pressão primária para uma pistola de ar comprimido Bolt® da arte anterior. A curva 240 é um pulso de pressão primária para uma pistola de ar comprimido Soderá® da arte anterior. A curva 210 é um formato de pulso de pressão desejado, de acordo com implementações de várias técnicas aqui descritas. Conforme mostrado na Figura 2, a inclinação ascendente da curva 210 é significativamente menor do que as inclinações ascendentes da curva 220, curva 230 e da curva 240. A acentuada inclinação ascendente dos pulsos de pressão primária para as pistolas de ar comprimido da arte anterior ilustrados nas curvas 220, 230 e 240 pode resultar em uma amplitude acústica fora da faixa de frequências de interesse. Assim sendo, ao modificar o pulso de pressão primária emitido pela fonte sísmica para se assemelhar à inclinação ascendente do formato de pulso de pressão desejado (ou seja, a curva 210), as amplitudes acústicas (ou seja, a energia de alta frequência) podem ser, assim, atenuadas, de forma que a maior parte das amplitudes esteja dentro da faixa de frequências de interesse. Em uma implementação, o formato do pulso de pressão desejado (ou seja, a curva 210) pode ser obtido através da limitação da liberação de gás pela fonte sísmica de tal forma, que a taxa, com que o volume da água ao redor da fonte sísmica é

deslocado pelo gás liberado, seja menor do que $2,9 \times 10^6$ m^3/s^3 , conforme descrito na Figura 1.

A Figura 3 mostra um gráfico 300 utilizado para calcular uma inclinação média ascendente de um pulso de pressão primária, de acordo com as implementações de várias técnicas aqui descritas. Em uma implementação, o terceiro diferencial do volume da água deslocado pelo gás liberado em relação ao tempo é a inclinação média ascendente do pulso de pressão emitido pela fonte sísmica dentro do corpo de água, como ilustrado na Figura 2. A inclinação média ascendente do pulso de pressão pode ser calculada como a inclinação entre 10 e 90 por cento de uma assinatura não filtrada do pulso de pressão gravada até 50 kHz, ou seja, a inclinação entre 10 por cento e 90 por cento do valor máximo do segundo diferencial do volume da água deslocado pelo gás liberado pela fonte sísmica em relação ao tempo. Por exemplo, na Figura 3, os círculos no pulso de pressão primária indicam um ponto a 10% e um ponto a 90% da assinatura não filtrada gravada até 50 kHz. A inclinação média da aceleração do volume entre esses pontos irá resultar em um valor, que é medido em metros cúbicos por segundo cúbico (ou seja, m^3/s^3). Assim sendo, a inclinação da aceleração de volume tem as mesmas unidades que o terceiro diferencial do volume da água deslocado pelo gás liberado em relação ao tempo.

A Figura 4 ilustra uma fonte sísmica de válvula

rotativa para atenuar a energia fora de banda por ela emitida, de acordo com implementações de várias técnicas aqui descritas. Em uma implementação, a fonte sísmica de válvula rotativa 400 pode ser usada para liberar um gás em um corpo de água de tal forma, que o volume de água em torno da fonte sísmica de válvula rotativa 400 seja deslocado pelo gás liberado a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$. A fonte sísmica de válvula rotativa 400 inclui um cilindro externo 410, um cilindro interno 430, uma barra de eixo 450, um atuador 460 e um suprimento de gás externo 470. O cilindro externo 410 pode ser imóvel, enquanto o cilindro interno 430 pode girar sobre a barra de eixo 450. Além disso, a parede interna do cilindro externo 410 pode ficar rente com a parede externa do cilindro interno 430, de forma que ar não possa existir entre os dois cilindros. Em uma implementação, um mecanismo de selagem pode ser utilizado entre o cilindro externo 410 e o cilindro interno 430, para garantir que não haja ar entre os dois cilindros. O cilindro externo 410 pode incluir uma ou mais janelas de cilindro externo 420, e o cilindro interno 430 pode incluir uma ou mais janelas de cilindro interno 440. As janelas de cilindro externo 420 e as janelas de cilindro interno 440 podem ser aberturas de formato quadrado na superfície do cilindro externo 410 e do cilindro interno 430, respectivamente. As janelas de cilindro externo 420 podem ser do mesmo tamanho que as janelas de cilindro interno

440. As janelas de cilindro externo 420 podem ser posicionadas sobre o cilindro externo 410, de forma que as janelas de cilindro interno 440 possam coincidir ou alinhar com as janelas de cilindro externo 420, quando o cilindro interno for girado para uma posição específica em relação ao cilindro externo. Embora as janelas de cilindro externo 420 e as janelas de cilindro interno 440 tenham sido descritas como sendo quadradas, deve-se notar que, em outras implementações, as janelas de cilindro externo 420 e as janelas de cilindro interno 440 podem ser arbitrariamente formadas.

A barra de eixo 450 pode ser disposta através do centro do cilindro externo 410 e do cilindro interno 430. Em uma implementação, o cilindro interno 430 pode ser acoplado à barra de eixo 450, de tal forma que a barra de eixo 450 possa girar o cilindro interno 430. Quando o cilindro interno 430 gira sobre a barra de eixo 450, as janelas do cilindro interno 440 coincidem com as janelas de cilindro externo 420 em vários momentos durante a rotação do cilindro interno 430.

O atuador 460 pode ser acoplado à barra de eixo 450 e pode controlar a taxa, na qual o cilindro interno 430 gira (ou seja, taxa de rotação). O suprimento de gás externo 470 pode ser acoplado a uma câmara, ou no interior, do cilindro interno 430, e fornecer um gás comprimido para a câmara. Em uma implementação, a fonte sísmica habilitada

por válvula rotativa 400 pode ser usada como a fonte sísmica descrita no método 100. Voltando à etapa 110 na Figura 1, a fonte sísmica de válvula rotativa 400 pode ser disposta no corpo de água. Voltando à etapa 120, um comando
5 pode ser enviado para a fonte sísmica de válvula rotativa 400, para liberar o gás comprimido no interior da câmara do cilindro interno 430 para dentro do corpo de água, de forma que o volume de água deslocado pelo gás liberado seja a uma taxa de menos de $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

10 A fonte sísmica de válvula rotativa 400 pode controlar a velocidade, com que o volume de água é deslocado pelo gás liberado, pelo controle da velocidade de rotação do cilindro interno 430. Em uma implementação, o suprimento de gás externo 470 pode encher a câmara do
15 cilindro interno 430 com um gás comprimido. Quando o cilindro interno 430 gira, o gás comprimido pode ser liberado, quando a janela do cilindro interno 440 coincidir, ou se alinhar, com a janela do cilindro externo 420. Desta forma, a taxa de rotação do cilindro interno
20 430, juntamente com o formato cuidadosamente projetado de ambas, as janelas do cilindro interno 440 e as janelas do cilindro externo 420, podem ser usados para determinar a taxa, com que o volume de água em torno da fonte sísmica de válvula rotativa é deslocado pelo gás liberado pela fonte
25 sísmica de válvula rotativa 400. A relação entre a taxa de rotação do cilindro interno 430 e a taxa, em que o volume

de água em torno da fonte sísmica de válvula rotativa 400 é deslocado pelo gás liberado, pode basear-se numa equação de movimento do volume de água fora da fonte sísmica de válvula rotativa 400, lei dos gases perfeitos, e uma
5 equação de taxa de fluxo do gás comprimido através da janela do cilindro externo 420 e da janela do cilindro interno 440, quando a janela do cilindro externo 420 e a janela do cilindro interno 440 estiverem alinhadas. A fim de deslocar o volume de água a uma taxa, que é inferior a
10 $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$, a taxa de rotação do cilindro interno 430 também pode ser determinada experimentalmente.

A Figura 5 ilustra uma fonte sísmica de pistão a gás 500 para atenuar a energia fora de banda por ela emitida, de acordo com implementações de várias técnicas
15 aqui descritas. A fonte sísmica de pistão a gás 500 inclui uma barra de eixo 510, um atuador 520, um pistão 530, um tambor 540 e uma fonte de gás externo 580. O atuador 520 é acoplado à barra de eixo 510, que é acoplada ao pistão 530. O atuador 520 controla o movimento axial do pistão 530,
20 controlando o movimento da barra de eixo 510. Em uma implementação, o atuador 520 pode ser elétrico, hidráulico, pneumático ou mecânico, como uma mola. A escolha do atuador 520 depende da taxa de uma aceleração de volume prescrita para deslocar o volume de água em torno da fonte sísmica de
25 pistão a gás 500, quando ela é disposta em um corpo de água.

As paredes externas do pistão 530 podem ser niveladas com as paredes internas do tambor 540. Assim sendo, o pistão 530 pode se mover em um movimento axial através do tambor 540. Em uma implementação, o tambor 540
5 pode ser um cilindro, onde uma das extremidades do cilindro é removida. Aqui, o pistão 530 pode ser um cilindro, que se aloja de modo nivelado dentro do tambor 540. O suprimento de gás externo 580 pode ser acoplado ao tambor 540. Assim sendo, o suprimento de gás externo 580 pode encher o tambor
10 540 com um gás à pressão ambiente 550. O gás à pressão atmosférica 550 pode ser um gás de baixa pressão.

Em uma implementação, a fonte sísmica de pistão a gás 500 pode ser usada como a fonte sísmica descrita no método 100. Voltando à etapa 110 da Figura 1, a fonte
15 sísmica de pistão a gás 500 pode ser disposta no corpo de água. Ao dispor a fonte sísmica de pistão a gás 500 no corpo de água, a fonte sísmica de pistão a gás 500 pode ser posicionada de tal forma, que a extremidade aberta do tambor 540 seja apontada para o corpo de água, ou seja,
20 estado inicial da Figura 5. Ao dispor a fonte sísmica de pistão a gás 500 dessa maneira, o gás à pressão atmosférica 550 pode permanecer dentro do tambor 540 e separado do corpo de água. Isto é possível pelas propriedades de flutuação do gás à pressão atmosférica 550 dentro do tambor
25 540 em relação ao corpo de água. A linha entre o gás à pressão atmosférica 550 e o corpo de água pode ser referida

como a interface de gás/ água 560. Em uma implementação, antes de dispor a fonte sísmica de pistão a gás 500 dentro do corpo de água, o pistão 530 pode ser posicionado de tal forma, que ele fique mais distante da interface de gás/ água 560. Após a fonte sísmica de pistão a gás 500 ser disposta no corpo de água, o suprimento de gás 580 pode encher o tambor 540 com o gás à pressão atmosférica 550.

Voltando à etapa 120, a fonte sísmica de pistão a gás 500 pode liberar um gás dentro do corpo de água de tal forma, que a taxa, com que o volume de água em torno da fonte sísmica de pistão a gás 500 é deslocado pelo gás liberado, seja inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$. A fim de liberar o gás dentro do corpo de água, o atuador 520 pode enviar um comando para a barra de eixo 510, para mover o pistão 530 ao longo de seu eixo, na direção da interface de gás/ água 560. Conforme mostrado em "Durante a Atuação" da Figura 5, o pistão 530 pode empurrar o gás à pressão atmosférica 550 contra a interface de gás/ água 560. Desta forma, o gás à pressão atmosférica 550 pode ser comprimido, formando um gás comprimido 570. Quando o gás à pressão atmosférica 550 é comprimido, o gás comprimido 570 pode ser liberado para o volume de água em torno da fonte sísmica de pistão a gás 500. O gás comprimido 570 pode, conseqüentemente, deslocar o volume de água em torno da fonte sísmica de pistão a gás 500.

A fim de liberar o gás comprimido dentro do corpo

de água, para que o volume de água em torno da fonte sísmica de pistão a gás 500 seja deslocado a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$, o pistão 530 pode ser empurrado na direção da interface de gás/ água de tal forma, que a
5 água ao redor da fonte sísmica de pistão a gás 500 seja deslocada a uma aceleração de volume prescrita. Em uma implementação, a aceleração de volume prescrita pode corresponder ao deslocamento do pistão 530 no tambor 540 em função do tempo. O deslocamento do pistão 530 em função do
10 tempo pode ser calculado, com base na lei dos gases perfeitos e numa equação de movimento da água em torno da fonte sísmica de pistão a gás 500. Os detalhes desse cálculo podem depender dos detalhes do projeto da fonte sísmica de pistão a gás 500.

15 A Figura 6 ilustra uma fonte sísmica de combustão controlada 600 para atenuar a energia fora de banda por ela emitida, de acordo com implementações de várias técnicas aqui descritas. A fonte sísmica de combustão controlada 600 pode incluir uma vela de ignição 610, uma mistura
20 combustível 620, um tambor 630, um abastecimento externo de mistura combustível 660 e um atuador 670. A vela de ignição 610 e o abastecimento externo de mistura combustível 660 podem ser acoplados à base do tambor. O abastecimento externo de mistura combustível 660 pode alimentar a base do
25 tambor 630 com uma mistura combustível 620. A mistura combustível 620 pode ser constituída de uma mistura

combustível de um ou mais gases, ou de um ou mais líquidos, tais como combustíveis ou oxidantes. A mistura combustível 620 pode ser concebida, de modo a queimar a uma taxa conhecida. Em uma implementação, a mistura combustível 620 5 pode ser constituída de uma mistura de propano e oxigênio, um tipo de combustível de foguete, ou algo semelhante. A vela de ignição 610, ou acendedor, pode ser acoplado à base do tambor 630, tal que uma faísca criada a partir da vela de ignição 610 possa inflamar ou queimar a mistura 10 combustível 620. A vela de ignição 610 também pode ser acoplada ao atuador 670 de tal forma, que o atuador 670 possa controlar, quando a vela de ignição 610 pode criar uma faísca ou queima. O tambor 630 pode ser um recipiente aberto de tal forma, que o raio da extremidade aberta do 15 tambor 630 seja maior que a extremidade oposta (i. e. base) do tambor 630. Em uma implementação, o tambor 630 pode ser moldado como um sino. No entanto, deve-se notar que, em outras implementações, o tambor 630 pode ser em forma de cone ou de qualquer outra forma.

20 A fonte sísmica de combustão controlada 600 pode ser usada como fonte sísmica descrita no método 100. Voltando à etapa 110 na Figura 1, a fonte sísmica de combustão controlada 600 pode ser disposta no corpo de água. Ao dispor a fonte sísmica de combustão controlada 600 25 no corpo de água, a fonte sísmica de combustão controlada 600 pode ser posicionada de tal forma, que a abertura do

tambor 630 aponte para baixo. O tambor 630 pode, então, ser cheio com a mistura combustível 620, através da mistura combustível externa 620. Quando a fonte sísmica de combustão controlada 600 é disposta em um corpo de água, a
5 linha entre a mistura combustível 620 e o corpo de água pode ser referida como a interface de combustível/ água 640.

Voltando à etapa 120, a fonte sísmica de combustão controlada 600 pode liberar um gás dentro do corpo de água
10 de tal forma, que o volume de água em torno da fonte sísmica de combustão controlada 600 seja deslocado pelo gás liberado em uma taxa que é inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$. A fim de liberar o gás dentro do corpo de água, o atuador 670 pode enviar um comando para a vela de ignição 610, para
15 inflamar a mistura combustível 620. Como mostrado na Figura 6 ("Durante a Atuação"), após a vela de ignição 610 inflamar a mistura combustível 620, mistura combustível 620 torna-se um gás em expansão 650 como resultado da liberação de calor da combustão da mistura combustível 620. O gás em
20 expansão 650 pode, então, ser liberado para dentro do volume de água em torno da fonte sísmica de combustão controlada 600.

Em uma implementação, a taxa de queima da mistura combustível 620 e a forma do tambor 630 podem ser usadas
25 para controlar a liberação do gás em expansão 650 para dentro do corpo de água, de tal forma que o volume de água

em torno da fonte sísmica de combustão controlada 600 seja deslocado a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$. Desta forma, os parâmetros de controle para determinar a taxa, com que o volume de água em torno da fonte sísmica de combustão controlada 600 é deslocado, incluem a composição química da mistura combustível 620 e a forma do tambor 630. Em uma implementação, a relação entre a forma do tambor 630 e a taxa em que o volume de água em torno da fonte sísmica de combustão controlada 600 é deslocado, pode ser determinada através de experimentação.

A Figura 7 ilustra um tubo radial 700 acoplado a uma fonte sísmica para atenuar energia fora de banda emitida pela fonte sísmica, de acordo com as implementações de várias técnicas aqui descritas. Em uma implementação, o tubo radial 700 pode ser constituído de um cilindro quadrado 710 e um sino 720. O cilindro quadrado 710 pode ser acoplado a um orifício de uma fonte sísmica 720 em uma extremidade, e ao sino 720 na outra extremidade. A fonte sísmica 720 pode ser um dispositivo para a liberação de gás para dentro de um corpo de água, tal como o dispositivo descrito na Patente dos EUA nº 7.321.527, ou a fonte sísmica de combustão controlada 600 acima descrita. O sino 720 pode ser aberto em ambas as extremidades, mas uma das extremidades do sino 720 pode ser maior que a outra extremidade do sino 720. Em uma implementação, a extremidade menor do sino 720 pode ser acoplada ao cilindro

quadrado 710. Assim sendo, a extremidade menor do sino 720 pode ter uma forma quadrada, de tal forma que ela corresponda à extremidade do cilindro quadrado 710 a ela acoplado. A extremidade maior do sino 720 também pode ser
5 em formato quadrado, mas pode ter um raio maior do que a extremidade menor do sino 720. Embora o cilindro quadrado 710 e o sino 720 tenham sido descritos como tendo um formato quadrado, deve ser notado que, em algumas implementações, o cilindro quadrado 710 e o sino 720 podem
10 ter um formato diferente.

Em uma implementação, o tubo radial 700 pode ser acoplado a uma fonte sísmica 730 para executar o método 100 acima descrito. Voltando à etapa 110 na Figura 1, a fonte sísmica 730 pode ser disposta no corpo de água. Antes da
15 disposição da fonte sísmica 730 no corpo de água, no entanto, um ou mais tubos radiais 700 podem ser acoplados a cada orifício da fonte sísmica 730. O orifício da fonte sísmica 730 pode incluir áreas na fonte sísmica 730, onde um gás pode ser liberado para dentro do corpo de água. Após
20 os tubos radiais serem acoplados à fonte sísmica 730, a fonte sísmica 730 pode ser disposta no corpo de água, e os 700 tubos radiais podem ser cheios com água.

Voltando à etapa 120, a fonte sísmica 730 pode liberar um gás para dentro do corpo de água de tal forma,
25 que o volume de água em torno da fonte sísmica 730 seja deslocado pelo gás liberado pela fonte sísmica a uma taxa

inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$. Normalmente, quando uma fonte sísmica convencional, como uma pistola de ar comprimido, é acionada, o gás comprimido dentro da pistola é liberado através dos orifícios da pistola, para formar uma bolha na
5 água circundante. O efluxo inicial do gás comprimido liberado na água é muito vasto, e a aceleração de volume da bolha é grande. Como resultado, o pulso de pressão inicial, que é irradiado para o corpo de água em torno da pistola, tem uma subida muito íngreme, e a taxa, em que o volume de
10 água em torno da pistola é deslocado pelo gás liberado pela pistola, é maior do que $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

Em contraste, quando tubos radiais são acoplados à mesma fonte sísmica 730, o volume de água em torno da fonte sísmica 730 pode ser deslocado a uma taxa inferior a $2,9 \times$
15 $10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$. Em uma implementação, quando um gás comprimido é liberado pela fonte sísmica 730, o gás comprimido é liberado através dos orifícios da fonte sísmica 730. Assim sendo, o gás comprimido expulsa inicialmente a água de dentro dos tubos radiais 700, antes dele ser liberado para
20 dentro do corpo de água fora dos tubos radiais 700. A massa de água dentro dos tubos radiais pode restringir o fluxo do volume de água fora da fonte sísmica 730, e definir como o gás comprimido pode ser liberado no corpo de água. Consequentemente, os tubos radiais 700 podem fazer com que
25 a expansão inicial do gás comprimido, a partir do orifício da fonte sísmica 730 para dentro do corpo de água, ocorra

mais lentamente. Ao fazer com que a expansão inicial do gás comprimido a partir do orifício ocorra mais lentamente, a inclinação da borda ascendente do pulso de pressão emitido pela fonte sísmica 730 pode ser reduzida, reduzindo assim a
5 saída de alta frequência da fonte sísmica 730.

Como acima mencionado, vários tipos de fontes sísmicas 730 podem produzir diversas amplitudes das saídas de alta frequência. Assim sendo, o tubo radial 700 pode ser projetado especificamente para cada tipo de fonte sísmica
10 730, a fim de reduzir as saídas de alta frequência destes vários tipos de fontes sísmicas 730. Os parâmetros de projeto para o tubo radial 700 podem incluir o comprimento, formato e raios do cilindro quadrado 710 e do sino 720. Em uma implementação, os parâmetros de projeto do tubo radial
15 700 podem ser alterados de tal modo, que a taxa, com que o volume de água em torno da fonte sísmica 730 é deslocado, seja menor que $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$. Desta forma, diferentes comprimentos e diâmetros de tubo radial 700 podem ser usados para combinar o tempo ascendente do pulso de pressão
20 emitido pela fonte sísmica 730 com a saída da largura de banda sísmica necessária, minimizando assim a saída de alta frequência desnecessária. O comprimento, formato e raios do cilindro quadrado 710 e do sino 720 dos tubos radiais 700 necessários para deslocar o volume de água fora da fonte
25 sísmica 730 a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$ para

várias fontes sísmicas 730, podem ser determinados experimentalmente.

Além de reduzir a saída de alta frequência da fonte sísmica 730, os tubos radiais 700 podem retardar o efluxo
5 de ar dentro da fonte sísmica 730, que, por sua vez, pode reduzir o desgaste das partes mecânicas da fonte sísmica 730.

Embora o anterior seja direcionado para implementações de várias técnicas aqui descritas, outras
10 implementações podem ser concebidas sem se afastar de seu escopo básico, que pode ser determinado pelas reivindicações a seguir. Embora a matéria tenha sido descrita em linguagem específica para as características estruturais e/ou atos metodológicos, é preciso entender que
15 a matéria definida nas reivindicações anexas não é necessariamente limitada às características ou atos específicos acima descritos. Em vez disso, as características e atos específicos acima descritos são divulgados como formas exemplificantes de implementação das
20 reivindicações.

- REIVINDICAÇÕES -

1. MÉTODO PARA ATENUAR ENERGIA FORA DE BANDA EMITIDA POR UMA FONTE SÍSMICA UTILIZADA EM UMA PESQUISA SÍSMICA MARINHA, caracterizado pelo fato de compreender:

disposição da fonte sísmica em um corpo de água;
e

liberação de um gás em um volume de água em torno da fonte sísmica, onde o gás liberado desloca o volume de água a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6$ metros cúbicos por segundo cúbico.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da taxa se situar em um intervalo de $0,6 \times 10^6$ a $1,8 \times 10^6$ metros cúbicos por segundo cúbico.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da taxa ser uma inclinação média ascendente de um pulso de pressão primária emitido pela fonte sísmica.

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato da inclinação média ascendente ser calculada, determinando uma inclinação média entre um ponto a 10% e um ponto a 90% de uma assinatura não filtrada do pulso de pressão primária emitido pela fonte sísmica registrado até 50 kHz.

5. FONTE SÍSMICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato do gás comprimido liberado ser configurado para deslocar um volume de água em torno da fonte sísmica a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6$ m³/s³.

6. FONTE SÍSMICA, de acordo com a reivindicação 5, caracterizada pelo fato da taxa de rotação do cilindro interno ser baseada em uma equação de movimento do volume de água, lei dos gases perfeitos e uma equação de uma taxa de fluxo do gás comprimido através das aberturas do

cilindro externo e do cilindro interno, quando as aberturas do cilindro externo e do cilindro interno estiverem alinhadas.

7. FONTE SÍSMICA PARA AQUISIÇÃO SÍSMICA MARINHA, caracterizada pelo fato de compreender:

tambor;

um acendedor acoplado a uma base do tambor;

fonte de mistura acoplada à base do tambor, onde a fonte de mistura fornece uma mistura combustível à base do tambor; e

atuador acoplado ao acendedor, no qual o atuador controla uma ignição do acendedor, e em que a ignição é configurada para combustão da mistura combustível, de modo que a mistura combustível queimada desloque um volume de água em torno do tambor a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

8. FONTE SÍSMICA, de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato da taxa ser baseada em um formato do tambor e uma taxa de queima da mistura combustível.

9. FONTE SÍSMICA, de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato do tambor ser configurado para ser verticalmente disposto dentro de um corpo de água de tal forma, que uma extremidade aberta do tambor seja apontada para o fundo do mar.

10. FONTE SÍSMICA, de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato dos tubos radiais serem configurados para restringir o gás comprimido liberado de tal forma, que um fluxo de um volume de água em torno da fonte sísmica seja a uma taxa inferior a $2,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

11. FONTE SÍSMICA, de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato da taxa ser determinada por um comprimento, formato e raio de cada tubo radial.

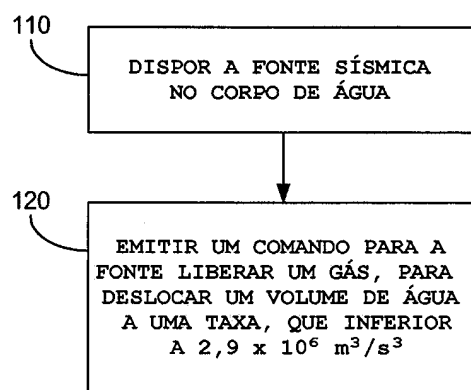
100

FIG. 1

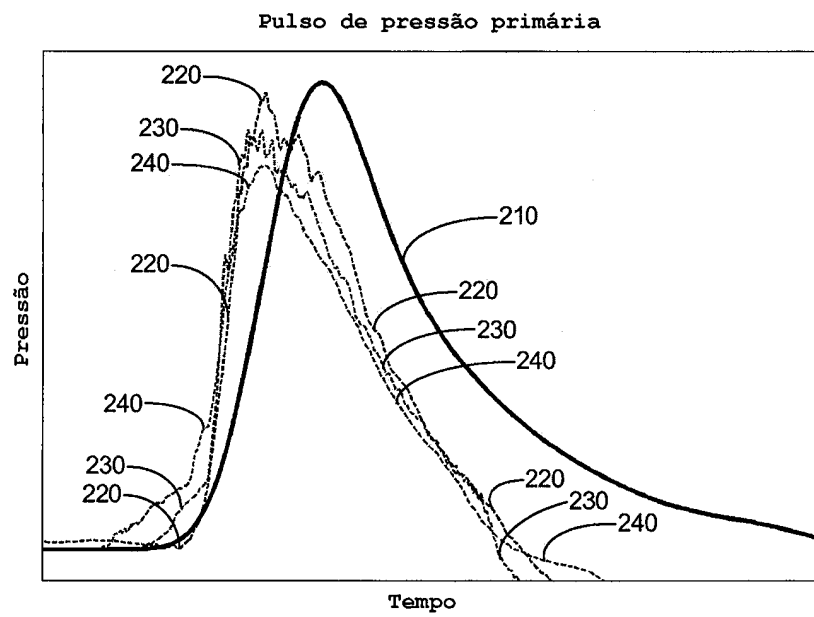
200

FIG. 2

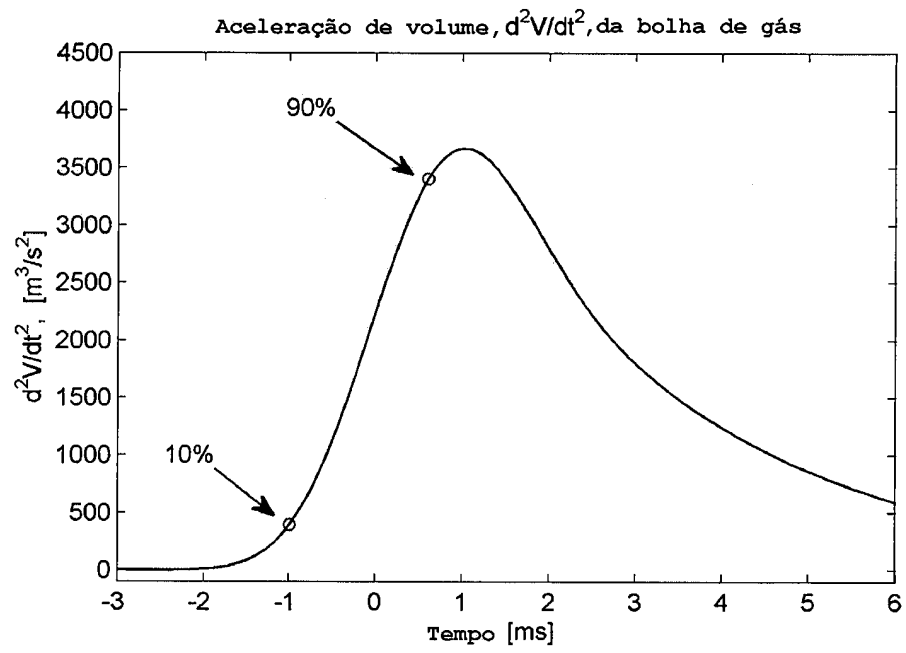


FIG. 3

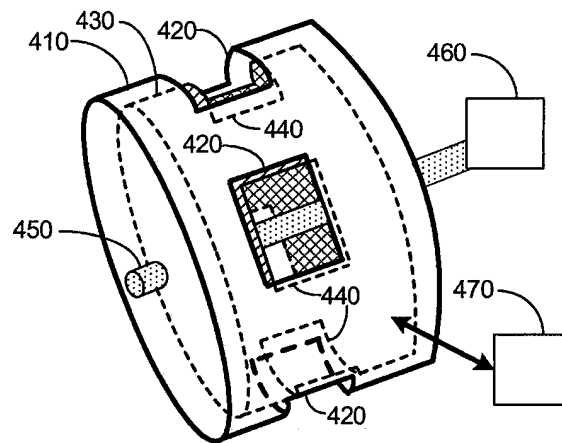
400

FIG. 4

500

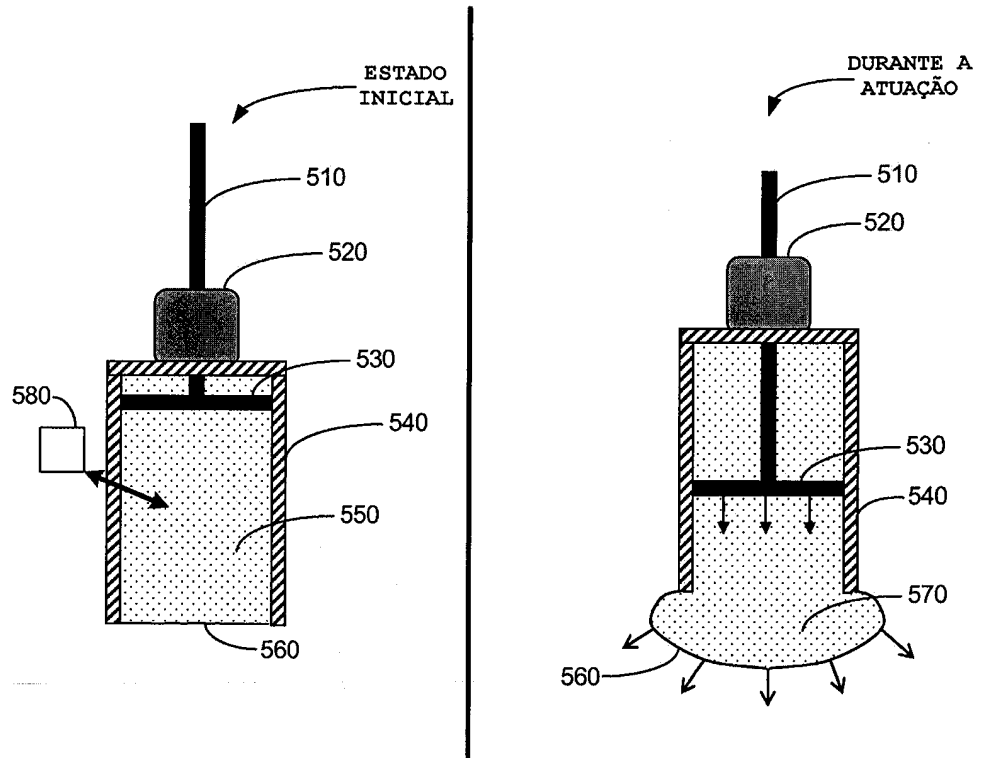


FIG. 5

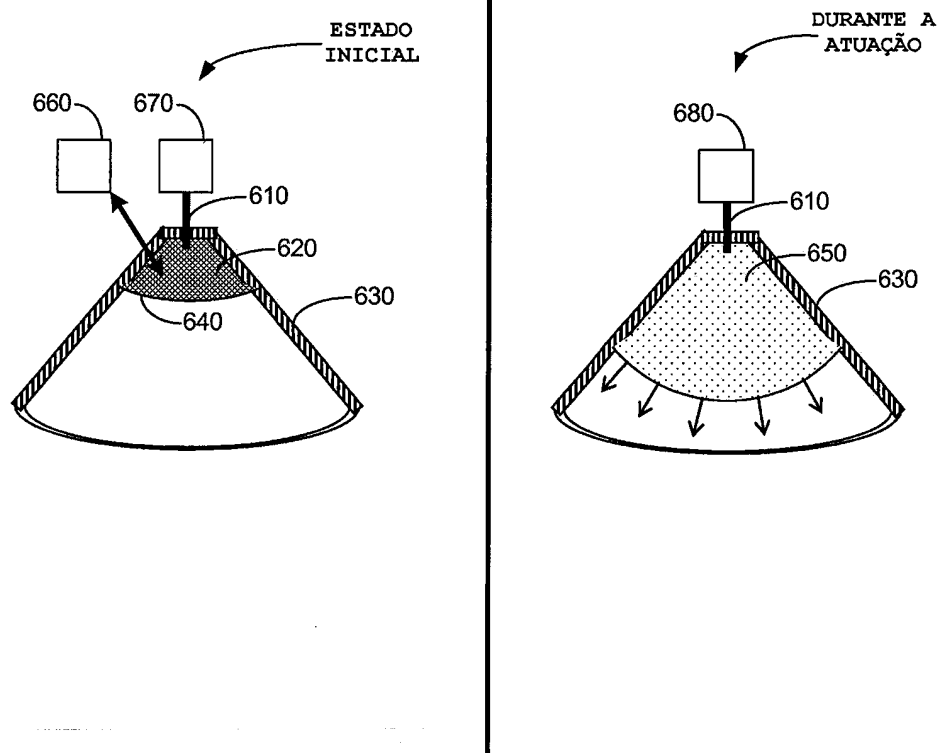
600

FIG. 6

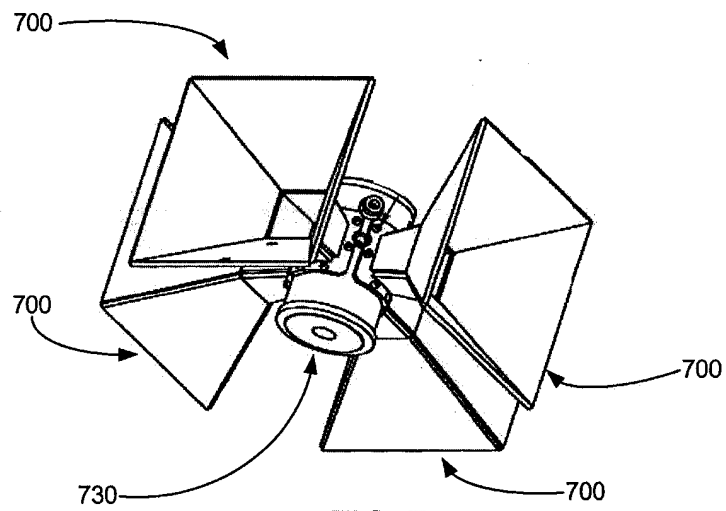
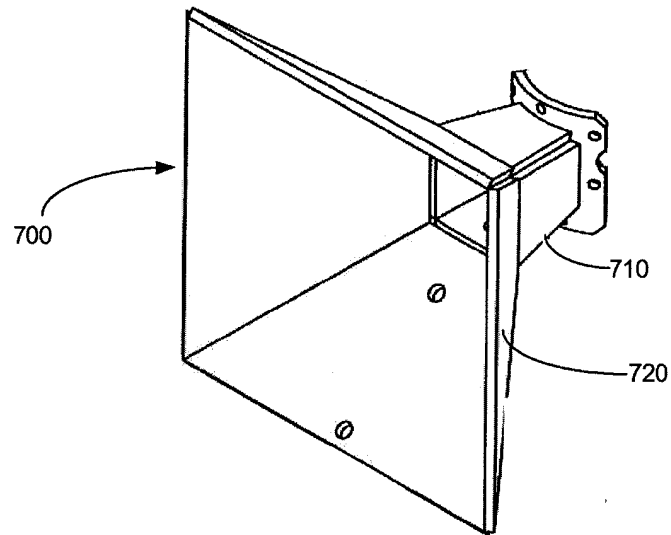


FIG. 7