

República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI 1102801-7 A2**



(22) Data de Depósito: 29/06/2011
(43) Data da Publicação: 21/11/2012
(RPI 2185)

(51) *Int.Cl.:*
G01V 1/143
G01V 1/02
G10K 9/12

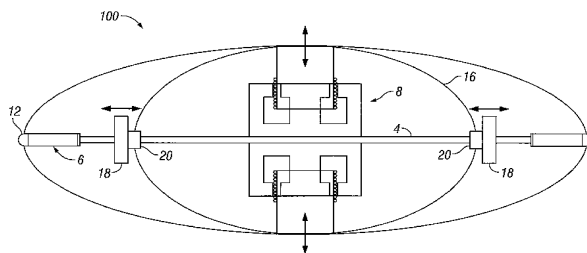
(54) **Título:** VIBRADOR ACÚSTICO MARÍTIMO POSSUINDO BAIXA AMPLITUDE DE FREQUÊNCIA APERFEIÇOADA

(30) **Prioridade Unionista:** 29/06/2010 US 12/803,505

(73) **Titular(es):** PGS Geophysical AS

(72) **Inventor(es):** Stig Rune Lennart Tenghamn

(57) **Resumo:** VIBRADOR ACÚSTICO MARÍTIMO POSSUINDO BAIXA AMPLITUDE DE FREQUÊNCIA APERFEIÇOADA. A presente invenção refere-se a uma fonte sísmica que inclui uma estrutura flexensora definindo um eixo mais longo e um eixo mais curto e, pelo menos, um acionador acoplado à estrutura flexensora adjacente à extremidade do eixo mais curto. A fonte sísmica poderá ser um componente de um sistema de pesquisa sísmica marítima. O sistema de pesquisa sísmica marítima poderá ser utilizado em um método de pesquisa sísmica marítima.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"VIBRADOR ACÚSTICO MARÍTIMO POSSUINDO BAIXA AMPLITUDE DE FREQUÊNCIA APERFEIÇOADA"**.

Antecedentes da Invenção

5 A presente invenção refere-se principalmente ao campo de pesquisa sísmica marítima. Mais especificamente, a invenção refere-se a fontes de energia sísmica do tipo vibrador acústico usado para pesquisa sísmica marítima.

Fontes sísmicas são usadas em pesquisa geofísica tanto em
10 terra, quanto em áreas da terra cobertas com água. Os sinais gerados por fontes sísmicas se deslocam para baixo, dentro da terra, são refletidos de interfaces na subsuperfície, e são detectados por detectores de sinais, tipicamente hidrofones e geofones, próximo ou na superfície da terra ou superfície da água.

15 A maioria das fontes sísmicas usadas nas operações de pesquisas marítimas são do tipo impulsivo, em que são enviados esforços para gerar o máximo de energia acústica possível durante o menor período de tempo possível. Exemplos destas fontes incluem canhões de ar, canhões hidráulicos, e um arranjo destes canhões. O teor de frequência destas fontes
20 é controlável somente até um pequeno grau, principalmente ao acrescentar canhões adicionais com diferentes tamanhos de câmaras a um sistema de canhão. Diferentes arranjos de fonte são selecionadas para a geração de diferentes faixas de frequência para diferentes necessidades de pesquisa. Fontes impulsivas geralmente possuem saída acústica limitada em faixas
25 muito baixas de 1 a 10 Hz, e especialmente abaixo de 5 Hz.

Outro tipo de fonte sísmica é um vibrador acústico. Fontes do tipo vibrador acústico conhecidas na técnica incluem fontes energizadas hidráulicamente, fonte de estrutura flexensora convencional, e fontes aplicando material piezoelétrico ou magnetoestritivo. Vibradores acústicos ten-
30 dem a oferecer melhores controles de frequências do que as fontes impulsivas. Fontes impulsivas similares, vibradores acústicos, geralmente possuem uma saída de energia acústica abaixo de 10 Hz muito limitada.

Fontes de estrutura flextensional típicas são baseadas no princípio de trocas de volume em uma estrutura geralmente elíptica e vibrante. Quando o eixo principal mais longo de uma elipse é ajustado por uma força motriz (por exemplo, acionador eletrodinâmico), o comprimento do eixo secundário, mais curto também vibrará, porém com uma amplitude muito maior. Contudo, para frequências muito baixas, pode se tornar bastante problemático gerar amplitude o suficiente para fonte de estrutura flextensional padrão (por exemplo, usando o tipo de acionador piezoce-
râmico ou Terfenol-D, afixado à extremidade do eixo principal na elipsoide).
Por exemplo, já que a força gerada decai rapidamente com a distância entre os magnetos, muitos acionadores eletromagnéticos convencionais podem ser incapazes de gerar força o suficiente para aplicações de grande amplitude. Algumas fontes de estruturas flextensoras (flextensional) usam mecanismos adicionais para ampliar ainda mais força motriz aplicada ao eixo principal da estrutura. Exemplos como estes podem ser encontrados nas Patentes U.S. nº 5.959.939, 6.076.629 e 7.551.518, cada uma emitida por Tenganhn, e cada uma aqui incorporada como referência.

Como é conhecido na técnica, como as ondas acústicas se deslocam através da água e pela subsuperfície de estruturas geológicas, ondas acústicas de frequência mais elevada são atenuadas mais rapidamente do que ondas de frequência mais baixa. Consequentemente, ondas de som de frequência mais baixas podem ser transmitidas através de distâncias mais longas na água e estruturas geológicas do que ondas de som de frequências mais elevadas.

Uma estrutura flextensional geralmente elíptica pode ser projetada com uma frequência de ressonância fundamental baixa de modo que a dimensão da estrutura seja pequena comparada com o comprimento de onda na água, permitindo, portanto, que a estrutura flextensora irradie som de modo onidirecional. Contudo, devido ao tamanho relativamente pequeno da estrutura flextensora (comparado com o comprimento da onda na água), a carga acústica é baixa em frequências baixas e fortemente reativas, tipicamente requerendo uma grande amplitude de velocidade da superfície radian-

te. Consequentemente, a tensão máxima permitida na estrutura é uma limitação na saída de potência das estruturas flexensorais elípticas típicas com frequências de ressonância baixa.

5 Tem havido uma necessidade constante no setor sísmico de óleo e indústria de gás para poderosas fontes de som marítimo de baixa frequência as quais operam na faixa de frequência de 1 a 10 Hz.

Sumário da Invenção

10 Uma fonte sísmica de acordo com um aspecto da invenção compreende de uma estrutura flexensora definindo um eixo mais longo e um eixo mais curto. A fonte sísmica ainda compreende pelo menos um acionador acoplado à estrutura flexensora próxima a uma extremidade do eixo mais curto.

15 Um sistema de pesquisa sísmica marítima de acordo com outro aspecto da invenção compreende, pelo menos, um navio. O sistema de pesquisa sísmica marítima também compreende de, pelo menos, uma fonte sísmica. A fonte sísmica compreende uma estrutura flexensora definindo um eixo mais longo e um eixo mais curto, e pelo menos um acionador acoplado à estrutura flexensora próxima a uma extremidade do eixo mais curto. O sistema de pesquisa sísmica marítima ainda compreende um controlador
20 elétrico capaz de controlar o acionador.

Um método de pesquisa sísmica marítima de acordo com outro aspecto da invenção compreende rebocar um cabo sensor sísmico com um navio através de um corpo de água sobre uma formação subterrânea. O método ainda compreende controlar uma fonte sísmica para gerar um sinal
25 sísmico. A fonte sísmica compreende uma estrutura flexensora definindo um eixo mais longo e um eixo mais curto, e pelo menos um acionador acoplado à estrutura flexensora próxima a uma extremidade do eixo mais curto. O método ainda compreende permitir que o sinal sísmico se propague através de um corpo de água e a formação subterrânea para fornecer um sinal
30 sísmico modificado. O método ainda compreende detectar o sinal sísmico modificado com o cabo de sensor sísmico.

Outros aspectos e vantagens da invenção serão aparentes a

partir da descrição e as reivindicações apenas.

Breve Descrição dos Desenhos

A figura 1 mostra um corte transversal de um acionador e estrutura flexensora de um vibrador acústico, de acordo com uma modalidade da invenção.

A figura 1A mostra um perfil de corte transversal de uma estrutura flexensora, de acordo com modalidades da invenção.

A figura 2 mostra o corte transversal de um acionador, estrutura flexensora, e a mola interna com massa adicionada, de acordo com a modalidade da invenção.

As figuras 2A e 2B mostram uma disposição alternativa da mola interna e massas adicionadas, como ilustrado do lado superior e lateral, respectivamente.

A figura 3 mostra um gráfico de resposta de frequência do vibrador acústico na figura 2.

A figura 4 mostra um exemplo de um sistema de aquisição sísmica marítima utilizando, pelo menos, um vibrador acústico, de acordo com a figura 2.

A figura 5 mostra um exemplo alternativo de um sistema de aquisição sísmica marítima utilizando, pelo menos, um vibrador acústico de acordo com a figura 2.

Descrição Detalhada

A figura 1 mostra uma fonte sísmica do tipo vibrador acústico 100 em corte transversal parcial, de acordo com uma modalidade da invenção. A fonte sísmica 100 pode incluir acionador 8, o qual pode ser um acionador eletrodinâmico. Em algumas modalidades (como descrito em mais detalhes abaixo), o acionador 8 poderá ser um acionador de “bobina móvel” ou “bobina ativada por voz”, que poderá fornecer a capacidade de gerar energia acústica de amplitudes muito elevadas (Fontes sísmicas utilizando acionadores de bobina móvel poderão ser referidas como “projetores de bobinas móveis”). Embora a modalidade específica descrita no presente documento mostre somente modalidades de um acionador único, bidirecio-

nal, com um ou mais acionadores unidirecionais ou no qual são utilizados uma pluralidade de acionadores em paralelo, estão dentro do escopo da invenção. A modalidade ilustrada ainda inclui uma estrutura flexensora 2, a qual poderá ser fabricada de molas ou metal resiliente similar, e o qual

5 poderá ser um transdutor flexensora classe V. Exemplos de estruturas flexensoras adequadas são geralmente discutidos na Patente U.S. No. 6.076.629 emitida por Tenganhn. A estrutura flexensora 2 pode ser formada por duas metades semielípticas 2A, 2B, unidas ou próximo às extremidades de seus eixos principais mais longos por respectivas dobradiças 12. O

10 acionador 8 poderá ser conectado à face de duas metades semielípticas 2A, 2B da estrutura flexensora 2. Por exemplo, como ilustrado na figura 2B, o acionador 8 poderá estar conectado aproximadamente no ponto médio vertical da face da estrutura flexensora 2, próximo às extremidades do eixo secundário, mais curto, das metades semielípticas da estrutura flexensora

15 2A, 2B. Em uma implementação específica da invenção, a estrutura flexensora 2 poderá atuar como uma mola tendo uma primeira mola constante para gerar o primeiro sistema de ressonância. Como seria entendido por uma pessoa versada na técnica com o proveito desta divulgação, a mola constante da estrutura flexensora poderá ser determinada pelas dimensões

20 da estrutura (por exemplo, cerca de 2 metros de largura por 2 metros de altura), o material composto da estrutura, e o formato da estrutura na forma no estado relaxado. Embora a figura 1 represente uma estrutura flexensora de formato essencialmente semielíptico, estruturas flexensoras de outros formatos, incluindo convexo, côncavo, plano, ou combinação dos mesmos

25 poderá ser adequada, conforme ilustrado na figura 1A. Em tais modalidades, dobradiças 12 poderão continuar a unir as duas metades de estrutura flexensora 2 a ou próximo às extremidades do eixo mais longo 25 da estrutura, enquanto o acionador 8 poderá continuar conectado às faces das metades próximas das extremidades do eixo 35 mais curtos da estrutura.

30 (Deve-se entender que, como com o eixo principal e o eixo secundário de uma elipse, os eixos mais longos e os eixos mais curtos são perpendiculares entre si). De maneira ideal, as dimensões, composição da matéria, e o

formato da estrutura flexensora serão selecionados para fornecer uma mola macia constante para vibrações entre 1 a 10 Hz, quando a estrutura estiver submergida na água.

Em algumas modalidades, a fonte sísmica 100 poderá ainda
5 incluir um acessório 4 capaz de suspender um acionador 8 dentro de uma estrutura flexensora 2. Por exemplo, na modalidade ilustrada, o acessório 4 estende-se ao longo do eixo principal de estrutura flexensora 2 e é acoplado à estrutura flexensora 2 com mancais lineares 6. Em algumas modalidades, o acessório 4 pode ter o formato circular em sentido transversal e pode ser
10 montado em dobradiças 12 usando mancais lineares 6. Tal montagem poderá possibilitar contração do eixo principal da estrutura flexensora 2 quando o eixo secundário for alargado pelo movimento do acionador 8.

Na modalidade ilustrada, o acionador 8 compreende um acionador espiral móvel bidirecional, tendo dois conjuntos de espiral elétrica 10,
15 elemento de transmissão 11, e um circuito magnético 14, que é capaz de gerar um campo magnético. Como ilustrado, o circuito magnético 14 pode ser conectado ao acessório 4, enquanto que o elemento de transmissão 11 conecta-se à estrutura flexensora 2. Em algumas modalidades, esta disposição é revertida (isto é, circuito magnético 14 se conecta à estrutura
20 flexensora 2, enquanto que o elemento de transmissão 11 se conecta ao acessório 4). Ao fixar a parte mais pesada (circuito magnético 14) do acionador 8 à estrutura 2, pode ser mais fácil gerar baixas frequências sem tornar a estrutura 2 fraca demais para a constante de mola suave. Como ilustrado, cada elemento de transmissão 11 poderá transferir movimento da
25 espiral elétrica 10 para a superfície interna da estrutura flexensora 2 adjacente ao seu eixo secundário. A espiral elétrica 10 poderá ser acoplada a um controlador elétrico apropriado (42 na figura 4) para controlar o acionador 8. Por exemplo, o controlador elétrico (42 na figura 4) poderia controlar a corrente elétrica através do acionador, por exemplo, frequência de varredura
30 alternando a corrente através da extensão de cerca de 1 até cerca de 100 Hz, ou mais particularmente entre cerca de 1 e cerca de 10 Hz. Frequentemente, o circuito magnético 14 poderá consistir em magnetos permanentes

, apesar de que qualquer dispositivo capaz de gerar fluxo magnético poderá ser incorporado. Quando a corrente elétrica I é aplicada à espiral elétrica 10, a força F agindo na espiral elétrica 10 poderá ser gerada:

$$(Eq. 1) \quad F = I / B,$$

5 onde I é a extensão do condutor na espiral elétrica e B é o fluxo magnético gerado pelo circuito magnético 14. Para extensão constante I e fluxo magnético B , a magnitude da corrente elétrica I determina assim a magnitude da força F agindo na espiral elétrica 10. A força F poderá causar movimento na espiral elétrica 10, e o elemento de transmissão 11 poderá transferir o movimento e a força F para a estrutura flexensora 2, a qual pode flexionar enquanto resiste o movimento e a força F . Consequentemente, a magnitude da corrente elétrica I poderá também determinar a extensão do golpe do acionador. O acionador 8 poderá proporcionar extensão de golpes de algumas polegadas – acima e incluindo cerca de 0,25 m (10”) – o qual
10 permitirá a fonte sísmica 100 gerar saída de amplitude acústica aumentada em faixas de baixa frequência, por exemplo, entre cerca de 1 a cerca de 100 Hz, e mais particularmente entre cerca de 1 e 10 Hz. Exemplos de acionadores 8 apropriados poderão ser encontrados na Patente U.S. No. 5.959.939 emitida para Tenganhn et al., o qual está incorporado neste documento co-
15 mo referência.

Em algumas modalidades da presente invenção, a fonte sísmica 100 apresenta pelo menos uma frequência ressonante (quando a estrutura está submersa em água) dentro de uma faixa de frequência sísmica entre cerca de 1 Hz e cerca de 10 Hz. A fonte sísmica 100 poderá apresentar pelo
25 menos 2 frequências ressonantes dentro da faixa de cerca de 1Hz e cerca de 50 Hz. Em certas modalidades, a fonte sísmica 100 poderá apresentar pelo menos duas frequências ressonantes abaixo de 10 Hz.

Como seria entendido por uma pessoa versada na técnica com o proveito desta divulgação, a impedância total que será experienciada pelo
30 vibrador acústico marítimo poderá ser expresso como segue:

$$(Eq. 2) \quad Z_r = R_r + jX_r$$

Onde Z_r representa a impedância total, R_r representa a impe-

- dância de radiação X_r a impedância reativa. Em uma análise da transferência de energia de um vibrador acústico marítimo, o vibrador acústico e seus componentes de operação poderão se igualar a um pistão defletor. Em uma expressão da impedância total que será experienciada por um pistão defletor, a radiação de impedância R_r de um pistão defletor será:

$$(Eq. 3) \quad R_r = \pi a^2 \rho_0 c R_1(x)$$

e a impedância reativa é:

$$(Eq. 4) \quad X_r = \pi a^2 \rho_0 c X_1(x)$$

na qual

$$(Eq. 5) \quad x = 2ka = \frac{4\pi a}{\lambda} = \frac{2\omega a}{c}$$

$$(Eq. 6) \quad R_1(x) = 1 - \frac{2}{x} J_1(x)$$

e

$$(Eq. 7) \quad X_1(x) = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(x \cos \alpha) \sin^2 \alpha d\alpha$$

- Nas expressões precedentes ρ_0 representa a densidade da água (na qual a superfície de radiação do vibrador acústico está imersa), ω representa a frequência angular, k representa o número da onda da energia acústica, a representa o raio do pistão, c representa a velocidade do som na água, λ representa a extensão da onda, e J_1 é a função Bessel da primeira ordem.

- Usando a expansão em série de Taylor nas equações acima, produz-se as seguintes expressões para $R_1(x)$ e $X_1(x)$:

$$(Eq. 8) \quad R_1(x) = \frac{x^2}{2^2 1! 2!} - \frac{x^4}{2^4 2! 3!} + \dots$$

$$(Eq. 9) \quad X_1(x) = \frac{4}{\pi} \left[\frac{x}{3} - \frac{x^3}{3^2 \cdot 5} + \frac{x^5}{3^2 \cdot 5^2 \cdot 7} - \dots \right]$$

- Para frequências baixas, isto é., quando $x=2ka$ é muito abaixo de 1, a parte real (R) e a imaginária (X) da expressão de impedância total poderá se aproximar com a primeira expressão da expansão de Taylor. As expressões de baixa frequência, quando a extensão de onda é muito maior do que o raio do pistão, então transforma-se em:

(Eq. 10) $R_1(x) \rightarrow \frac{1}{2} (ka)^2$

(Eq. 11) $X_1(x) \rightarrow \frac{8ka}{3\pi}$

Por esta razão, para frequências baixas, a impedância de radiação R será pequena comparada à impedância reativa X , o que sugere a
 5 geração de um sinal de eficiência muito baixa, e consequentemente, baixa amplitude de sinal de saída. Contudo, ao introduzir a ressonância na extremidade inferior do espectro da frequência da estrutura do vibrador acústico, energia acústica de baixa frequência poderá ser gerada com mais eficiência. Na ressonância, a parte imaginária (reativa) da impedância é substancial-
 10 mente cancelada, e a fonte acústica é capaz de transmitir eficientemente energia acústica dentro da água.

A figura 2 exhibe outra modalidade de fonte sísmica 100, inclusive a adição de uma mola interna 16, normalmente de forma elíptica dentro da estrutura flexensora 2 com massas 18 anexadas a este, ao longo das extre-
 15 midades do eixo principal e apoiado de forma deslizável no acessório 4, usando um mancal linear 20. A mola interna 16 poderá ser acoplada à estrutura flexensora 2 próxima ao eixo principal de cada. O acionador 8 poderá ser acoplado à estrutura flexensora 2 como na modalidade ilustrada na figura 1. Como ainda discutido abaixo, a mola interna 16 com massas 18
 20 anexas neste documento, pode causar um segundo sistema de frequência de ressonância quando a estrutura estiver submersa na água dentro da faixa de frequência sísmica de interesse (por exemplo, , entre cerca de 1 e cerca de 10Hz). Embora uma fonte sísmica 100 que incluiu somente uma estrutura flexensora 2 agindo como mola, tipicamente apresentaria uma segunda
 25 frequência de ressonância, para sistemas tendo um tamanho adequado para o uso em exploração geofísica, a segunda frequência de ressonância quando a estrutura estiver submersa na água tipicamente seria muito mais elevada que as frequências dentro da faixa de frequência sísmica de interesse.

30 Em algumas modalidades, como exibido nas figuras 2A e 2B, as extremidades do eixo principal da mola interna 16 poderão estar acopladas

às extremidades do eixo principal da estrutura flexensora 2 na dobradiça 12. Massas 18 poderão ser afixadas na mola interna 16 adjacente ao eixo secundário. Como ilustrado na figura 2B, a mola interna 16 poderá ser dividida verticalmente em duas molas, cada uma adicionada a massas 18.

5 Na modalidade ilustrada, uma mola interna 16 está fixada acima do acionador 8, enquanto a outra mola interna está disposta abaixo do acionador 8, e o acionador 8 permanece acoplado à estrutura flexensora 2.

A figura 3 exibe um gráfico de uma simulação de um vibrador acústico marítimo feito substancialmente, como mostrado na figura 2. A primeira frequência de ressonância resulta substancialmente da interação da estrutura flexensora atuando como uma mola. A segunda frequência de ressonância resulta substancialmente da interação da mola interna com suas massas adicionadas. No presente exemplo, a primeira ressonância foi posicionada a cerca de 2,5 Hz e a segunda ressonância foi posicionada a

10

15 cerca de 4,5 Hz.

Ao construir qualquer implementação específica da invenção, uma análise do elemento finito poderá ser usada por aqueles versados na técnica. Em qualquer análise deste tipo, os princípios de operação a seguir são pertinentes. Se a estrutura flexensora é aproximada a um pistão, então,

20 para baixas frequências, a carga de massa, ou a massa de fluido equivalente agindo na estrutura flexensora é:

$$(Eq. 12) \quad M_{shell} = \rho_0 \frac{8a^3}{3}$$

onde M representa a carga de massa, ρ_0 representa a densidade da água, e a representa o raio equivalente para um pistão que

25 corresponde à área da superfície externa da estrutura flexensora.

Quando a estrutura flexensora 2 possui uma mola constante K_{shell} na direção da espiral móvel elétrica no acionador 8, a primeira ressonância, $f_{resonance-1}$, para o sistema vibrador acústico será substancialmente determinado pela seguinte relação massa-mola:

$$30 \quad (Eq. 13) \quad f_{ressonância-1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{estrutura}}{M_{estrutura}}}$$

Para alcançar a transmissão de energia eficiente com a faixa de

frequência sísmica de interesse, em muitos casos de cerca de 1 a cerca de 10 Hz, poderá ser importante obter uma segunda frequência de ressonância dentro da faixa de frequência sísmica de interesse. Na ausência de uma mola de massa interna (inner mass spring), a segunda frequência de ressonância ocorreria quando a estrutura flexensora possuir seu segundo modo Eigen. Esta frequência de ressonância é, no entanto, normalmente mais elevada do que a primeira frequência de ressonância, e consequentemente, poderia estar fora da faixa de frequência sísmica de interesse. Como fica evidente na equação demonstrada acima, a frequência de ressonância será reduzida se a carga da massa na estrutura flexensora for aumentada. Esta carga de massa poderia ser acrescida ao adicionar massa à estrutura flexensora, no entanto, a fim de adicionar massa suficiente para alcançar a segunda frequência de ressonância dentro da faixa de frequência sísmica de interesse, a quantidade de massa que seria necessária para adicionar a estrutura flexensora tornaria este sistema impraticável para o uso em operações sísmicas marítimas.

No exemplo ilustrado na figura 2, a segunda mola, a mola interna 16, está incluída dentro da estrutura flexensora 2 adicionada de massas 18. A mola interna terá um fator transformador T_{inner} entre os eixos principal e secundário de sua elipse, para que o desvio dos dois lados da porção (na extremidade de seu eixo secundário) tenha uma amplitude maior do que o desvio das extremidades dos eixos principais anexados à estrutura flexensora. O efeito para tal massa adicionada é equivalente à adição de massa na extremidade do acionador, onde a estrutura flexensora é anexada.

(Eq. 14)
$$M_{interno} = (T_{interno})^2 \cdot M_{adicionado}$$

O uso da mola interna 16 adicionada de massas 18, permite uma segunda ressonância do sistema a ser sintonizado, de forma que a segunda ressonância caia dentro da faixa de frequência sísmica de interesse, dessa forma aperfeiçoamento a amplitude do vibrador acústico para as operações sísmicas. A segunda ressonância poderá ser expressa como:

$$(Eq. 15) \quad f_{ressonância-2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{interno} + K_{estrutura}}{(T_{interno})^2 \cdot M_{adicionado} + M_{estrutura}}}$$

Onde $K_{interno}$ representa a mola constante da mola interna, e $K_{estrutura}$ representa a mola constante da estrutura flexensora.

É possível, como visto acima, selecionar a massa para sintonizar a segunda ressonância. Também é possível selecionar a faixa de influência da segunda ressonância que existe no sistema. Se na mola interna existe uma mola baixa constante comparada a da estrutura flexensora e uma massa correspondente é adicionada à mola interna, a mola interna com sua massa funcionará essencialmente independentemente da estrutura flexensora. Em tais casos, a segunda ressonância poderá ser expressa como segue:

$$(Eq. 16) \quad f_{ressonância-2} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{interno}}{(T_{interno})^2 \cdot M_{adicionado}}}$$

Da mesma forma, também é possível executar uma segunda ressonância bastante extensa ao selecionar uma mola elevada constante para a mola interna com massas correspondentes; a segunda ressonância em tais casos aumentará a amplitude da primeira ressonância.

Os vibradores acústicos marítimos, de acordo com o precedente documento, poderão criar energias sísmicas de amplitude bastante elevadas em baixas frequências (por exemplo, entre 1 e cerca de 100 Hz, e mais particularmente, entre cerca de 1 e cerca de 10 Hz). O acionador poderá trabalhar em fase com a estrutura, e a dimensão do dispositivo poderá ser otimizada com relação às restrições operacionais. Além do mais, poucos elementos de mola poderão reduzir perdas devido a menor quantidade de pontos de conexão.

A figura 4 apresenta o sistema de aquisição marítima que pode usar um ou mais tipos de vibradores acústicos marítimos de fonte de energia, de acordo com a explicação fornecida acima. Cada um dos vibradores acústicos V1-V5 como mostrado na figura 4, poderá ser montado em um invólucro adequado para acoplar o casco de um navio de pesquisa (por exemplo, V1 e V2) e/ou por ser rebocado na extremidade de um cabo 44 (por exemplo, V3, V4, V5). Cada vibrador acústico V1-V5 pode

possuir diferentes faixas de frequência de operação, incluindo duas ressonâncias como explicado acima, para fornecer amplitude de saída constante dentro da faixa de frequência selecionada. Pelo menos uma de cada faixa de frequência é considerada como sendo entre cerca de 1 e cerca de 10 Hz, de acordo com o exemplo mostrado na figura 2. Exemplos de estruturas de invólucros adequadas são geralmente mostrados na Patente U.S. No. 7.551.518, emitida para Tenghamn e comumente pertencente à presente invenção. O navio de pesquisa 40 move-se ao longo da superfície 41 de um corpo de água, tal como um lago ou o oceano. As energias emitidas pelo vibrador acústico V1-V5 se deslocam para baixo para dentro da água e formações de pedra 52 embaixo do fundo da água 50. A energia refletida é detectada pelos sensores sísmicos 48 dispostos ao longo de um ou mais cabos 46, rebocados pelo navio de pesquisa ou outro navio. O tipo de sensor sísmico não é um limite no escopo da presente invenção e poderá haver hidrofones de outro sensor responsivo de pressão, geofones, acelerômetros ou outro sensor responsivo, ou combinações dos mesmos. Os sinais gerados pelos sensores são comunicados para o equipamento no navio 40, mostrado geralmente no 42 e sendo atribuído por conveniência como "sistema de gravação". O sistema de gravação 42 tipicamente inclui dispositivos (nenhum exibido separadamente) para navegar o navio 40, para atuar os vibradores acústicos V1-V5, por exemplo, controlador elétrico com corrente alternada de varredura de frequência ou outro sinal, e para gravação de sinais gerados pelo sensor sísmico 48.

A figura 5 mostra um sistema de aquisição alternativa marítima alternativo que usa canhões de ar conjuntamente com um ou mais tipos de vibradores acústicos marítimos de fontes de energia, de acordo com a explicação fornecida acima. Neste sistema, os canhões de ar A1-A3 poderão fornecer uma fonte de energia sísmica impulsiva em uma faixa de cerca de 5 a 10 Hz a uma profundidade entre cerca de 6 a 10 metros. Os vibradores acústicos V3-V5 podem trabalhar com canhões de ar, fornecendo uma fonte de energia sísmica em uma faixa de cerca de 1 a 5 Hz a uma profundidade entre cerca de 60 a 70 metros. Em algumas modalidades, vibradores

acústicos V3-V5 podem ser rebocados junto no fundo da água 50. Como ilustrado, os sensores sísmicos podem ser rebocados em uma profundidade entre os canhões de ar A1-A3 e vibradores acústicos V3-V5. Por exemplo, o sensor sísmico poderá ser rebocado a uma profundidade entre cerca de 15 e 5 25 metros. Como poderá ser entendido por pessoa versada na técnica com o proveito desta descrição, reflexões da superfície podem atenuar sinais de frequência muito baixos. Ao rebocar os vibradores acústicos de baixa frequência V3-V5 a uma profundidade maior do que canhões de ar em uma frequência maior A1-A3, os efeitos das reflexões de superfície podem ser 10 minimizados.

Ainda que a presente invenção tenha sido descrita com relação a um número limitado de modalidades, aqueles versados na técnica, com o proveito desta divulgação, apreciarão que outras modalidades possam ser inventadas, as quais não saem do escopo da invenção, conforme descrito no 15 presente documento. Consequentemente, o escopo desta invenção será limitado somente pelas reivindicações aqui apensas.

REIVINDICAÇÕES

1. Fonte sísmica, compreendendo:

uma estrutura flexensora definindo um eixo mais longo e um eixo mais curto; e

5 pelo menos um acionador acoplado à estrutura flexensora próximo à extremidade do eixo mais curto.

2. Fonte sísmica, de acordo com a reivindicação 1, em que a fonte sísmica possui uma primeira frequência de ressonância entre cerca de 1 e cerca de 10 Hz quando disposta na água.

10 3. Fonte sísmica, de acordo com a reivindicação 1, também compreendendo:

pelo menos uma mola interna acoplada à estrutura flexensora; e uma pluralidade de massas acopladas à mola interna.

15 4. Fonte sísmica, de acordo reivindicação 3, em que a fonte sísmica possui uma primeira e uma segunda frequências de ressonância entre cerca de 1 e cerca de 50 Hz quando disposta na água.

5. Fonte sísmica, de acordo com reivindicação 1, em que o acionador compreende um acionador espiral móvel.

20 6. Fonte sísmica, de acordo com a reivindicação 3, em que a mola interna compreende um formato substancialmente elíptico, a mola interna é acoplada à estrutura flexensora adjacente a cada extremidade do eixo principal de formato elíptico, e as massas estão dispostas adjacentes a cada extremidade do eixo secundário de formato elíptico.

25 7. Fonte sísmica, de acordo com a reivindicação 3, em que a mola interna compreende um formato substancialmente elíptico, a mola interna é acoplada à estrutura flexensional adjacente a cada extremidade do eixo secundário de formato elíptico, e as massas estão dispostas adjacentes a cada extremidade do eixo principal de formato elíptico.

30 8. Fonte sísmica, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo um segundo acionador, em que cada acionador é acoplado à estrutura flexensora adjacente à extremidade do eixo mais curto.

9. Fonte sísmica, de acordo com a reivindicação 1, ainda com-

preendendo um acessório acoplado ao acionador.

10. Fonte sísmica, de acordo com a reivindicação 9, em que o acessório é acoplado à estrutura flexensora adjacente à extremidade do eixo mais longo.

5 11. Fonte sísmica, de acordo com a reivindicação 1, em que a distância do do golpe do acionador está entre cerca de 0,05 metro (2") a cerca de 0,25 metro (10") .

12. Fonte sísmica, de acordo com a reivindicação 1, em que o acionador compreende :

10 um elemento de transmissão; e
um circuito magnético que é acoplado à estrutura flexensora.

13. Sistema de pesquisa sísmica marítima, compreendendo:
pelo menos um navio:
pelo menos uma fonte sísmica, a fonte sísmica compreendendo:
15 uma estrutura flexensional definindo o eixo mais longo e o mais curto; e

pelo menos um acionador acoplado à estrutura flexensora adjacente à extremidade do eixo mais curto; e
flexensoraum controlador elétrico capaz de controlar o aciona-
20 dor.

14. Sistema de pesquisa sísmica marítima, de acordo com a reivindicação 13, em que a fonte sísmica possui uma primeira frequência de ressonância entre cerca de 1 e cerca de 10 Hz quando disposta na água.

15. Sistema de pesquisa sísmica marítima, de acordo com a
25 reivindicação 13, em que a fonte sísmica também compreende:
pelo menos uma mola interna acoplada à estrutura flexensora; e
uma pluralidade de massas acopladas à mola interna.

16. Sistema de pesquisa sísmica marítima, de acordo com a reivindicação 15, em que a fonte sísmica possui a primeira e a segunda
30 frequências de ressonância entre cerca de 1 e cerca de 50 Hz quando disposta na água.

17. Sistema de pesquisa sísmica marítima, de acordo com a

reivindicação 13, em que o acionador compreende um acionador espiral móvel tendo como distância do golpe entre cerca de 0,05 metro (2") e cerca de 0,25 metro (10") .

5 18. Sistema sísmico marítimo, de acordo com a reivindicação 13, em que pelo menos uma fonte sísmica é acoplada ao casco do navio.

19. Sistema sísmico marítimo, de acordo com a reivindicação 13, em que pelo menos uma fonte sísmica é acoplada ao navio pelo cabo do reboque .

10 20. Sistema sísmico marítimo, de acordo com a reivindicação 13, também compreendendo pelo menos um canhão de ar, em que a profundidade de pelo menos um canhão é menor que a profundidade de pelo menos uma fonte sísmica.

21. Método de pesquisa sísmica marítima, compreendendo:
rebocar um cabo sensor sísmico - com um navio através do
15 corpo de água sobre uma formação subterrânea;

controlar uma fonte sísmica para gerar sinal sísmico, em que a fonte sísmica compreende:

20 estrutura flexensora definindo um eixo mais longo e um eixo mais curto; e
pelo menos um acionador acoplado à estrutura flexensora adjacente a uma extremidade do eixo mais curto;

permitir o sinal sísmico propagar através do corpo de água e a formação subterrânea fornecer um sinal sísmico modificado; e

25 detectar o sinal sísmico modificado com um cabo sensor sísmico.

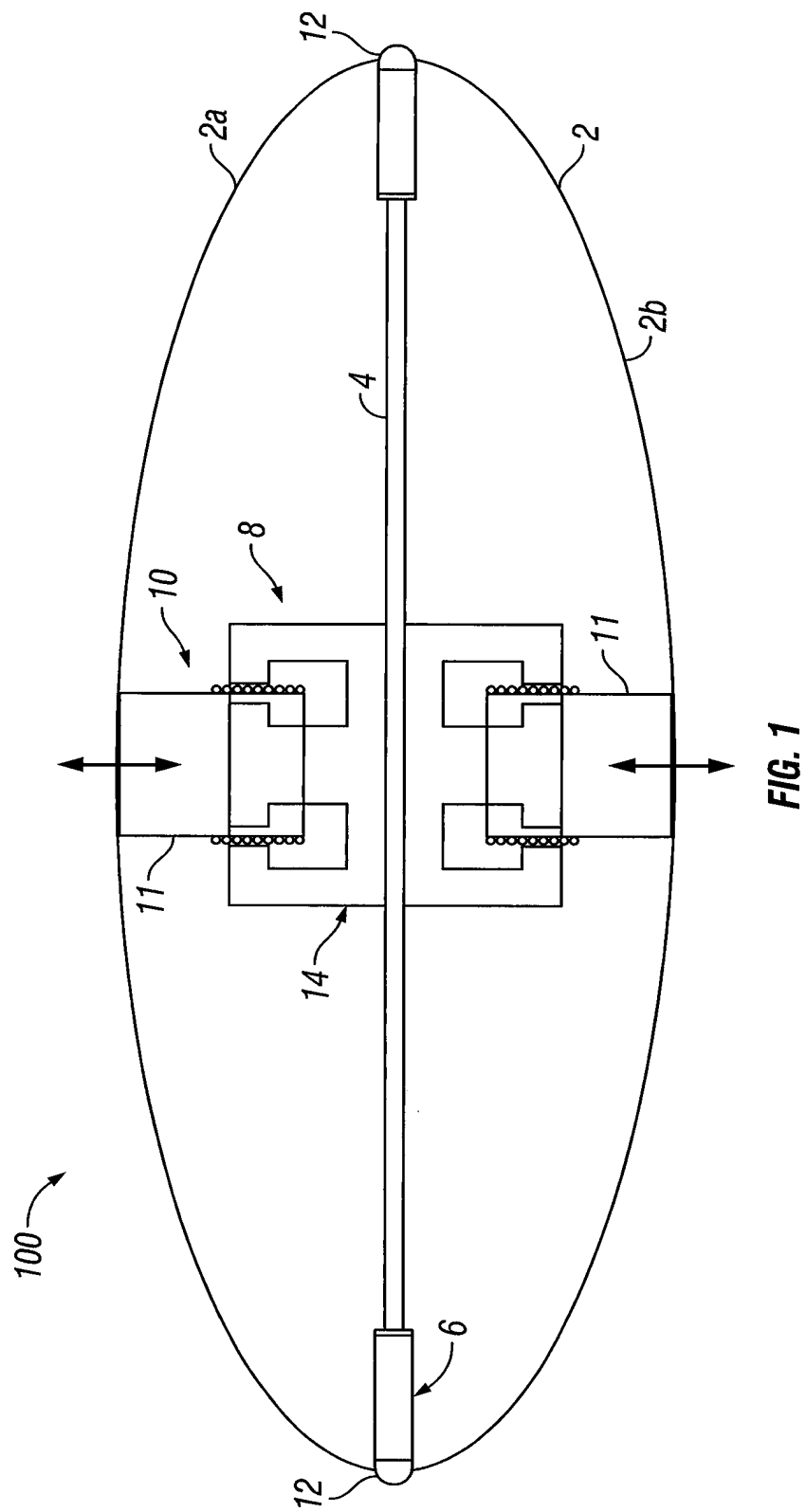
22. Método, de acordo com a reivindicação 21, em que a fonte sísmica possui uma primeira frequência de ressonância entre cerca de 1 e cerca de 10 Hz quando disposta na água.

30 23. Método, de acordo com a reivindicação 21, em que a fonte sísmica também compreende :

pelo menos uma mola interna acoplada à estrutura flexensora; e uma pluralidade de massas acopladas à mola interna.

24. Método, de acordo com a reivindicação 23, em que a fonte sísmica possui uma primeira e uma segunda frequências de ressonância entre cerca de 1 e cerca de 50 Hz quando disposta na água.

- 5 25. Método, de acordo com a reivindicação 21, também compreendendo reboque de pelo menos um canhão de ar em uma profundidade menor do que a profundidade de pelo menos uma fonte sísmica.



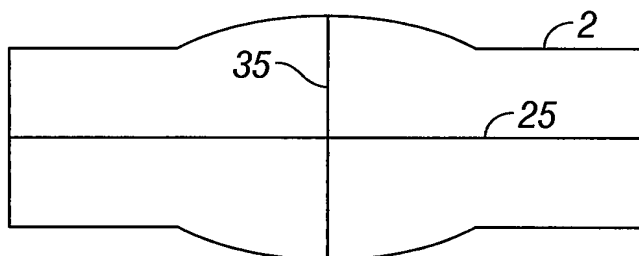
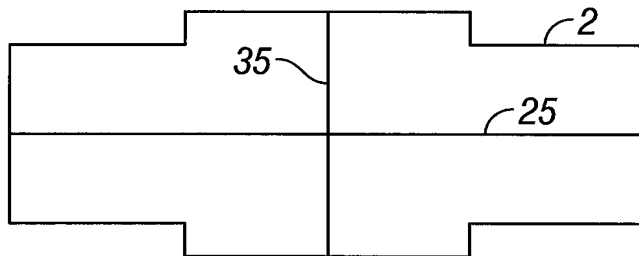
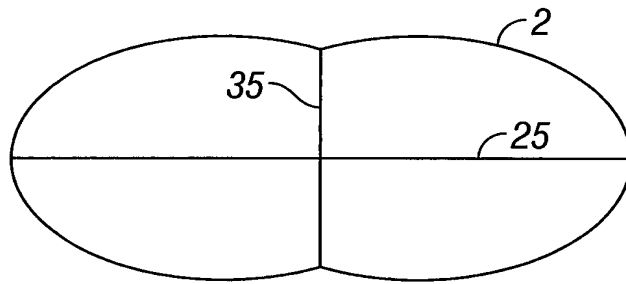
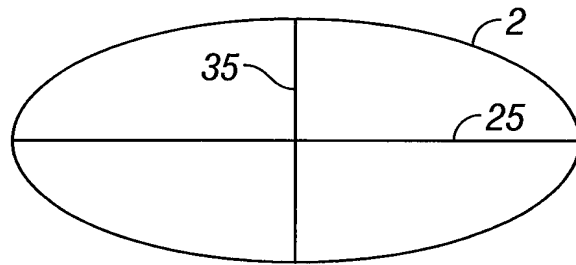


FIG. 1A

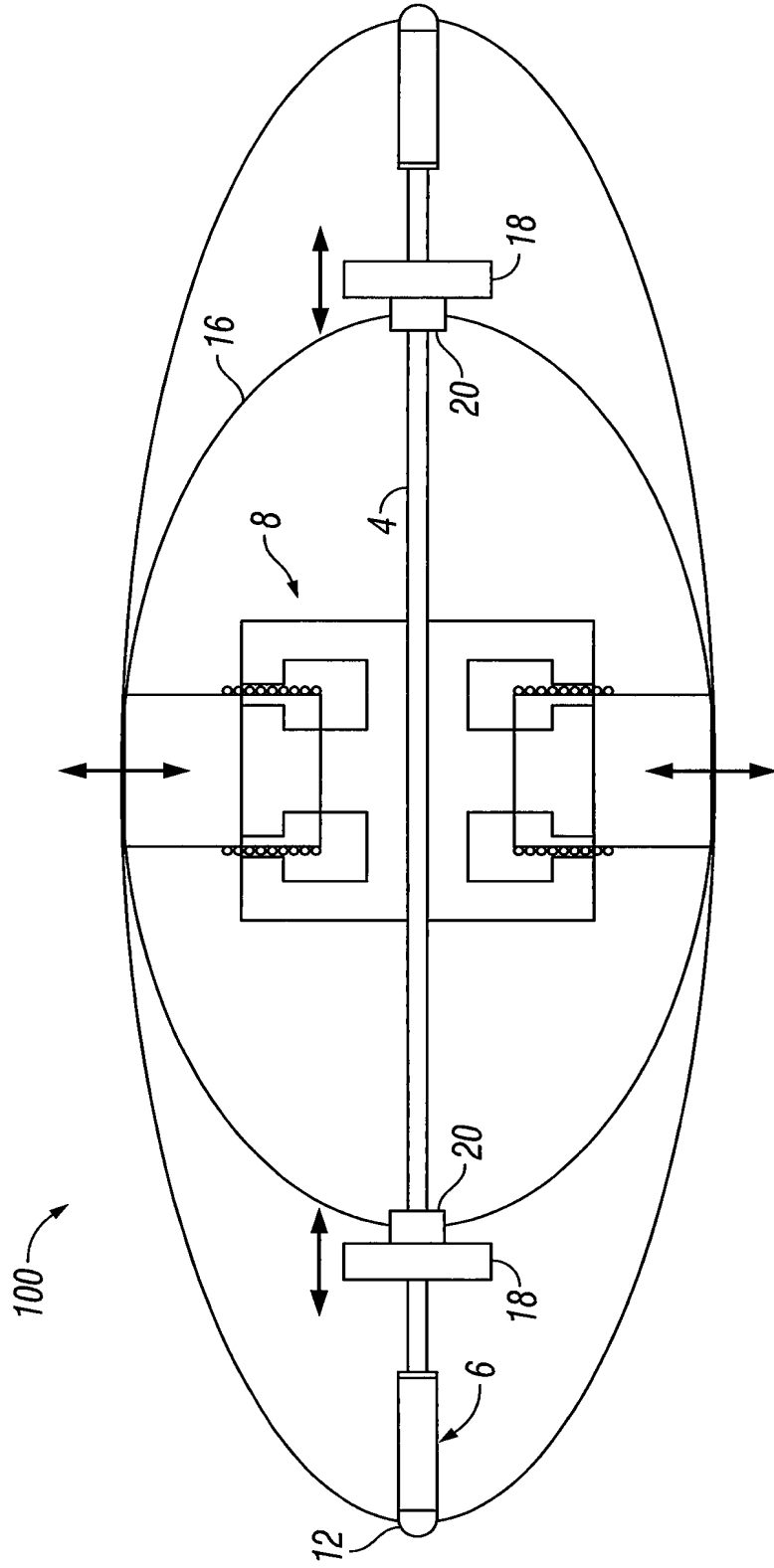


FIG. 2

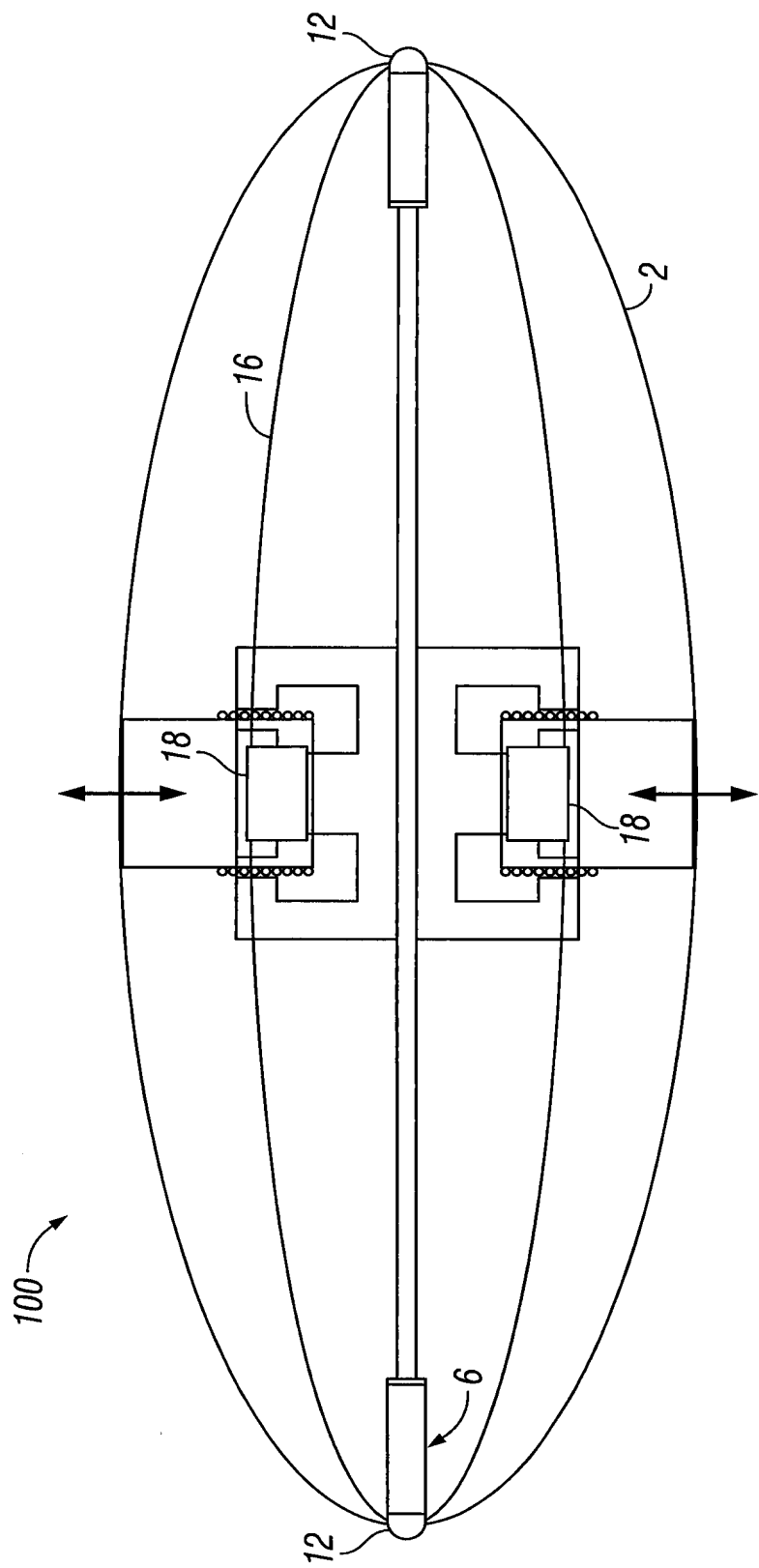


FIG. 2A

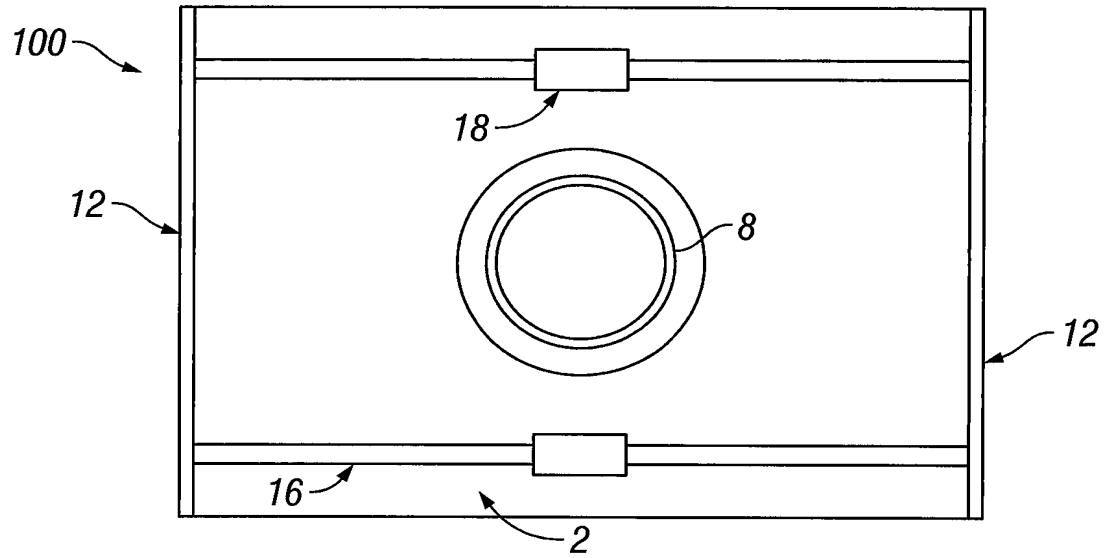


FIG. 2B

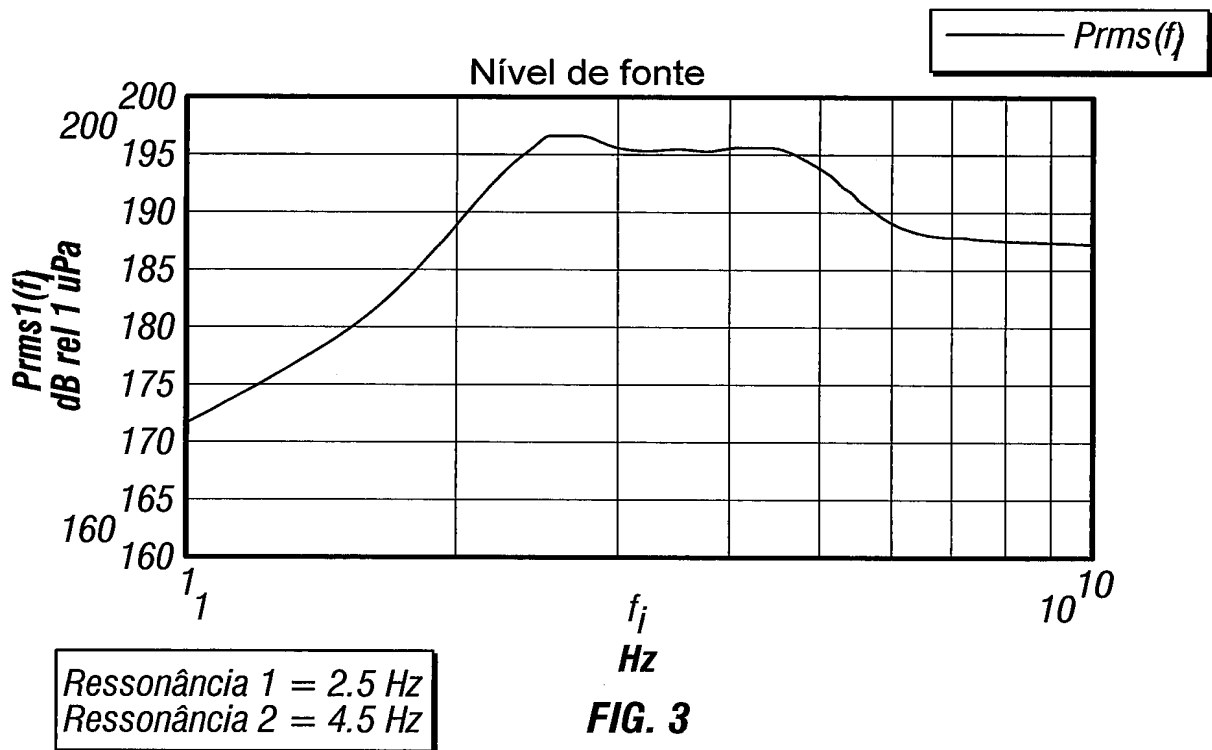


FIG. 3

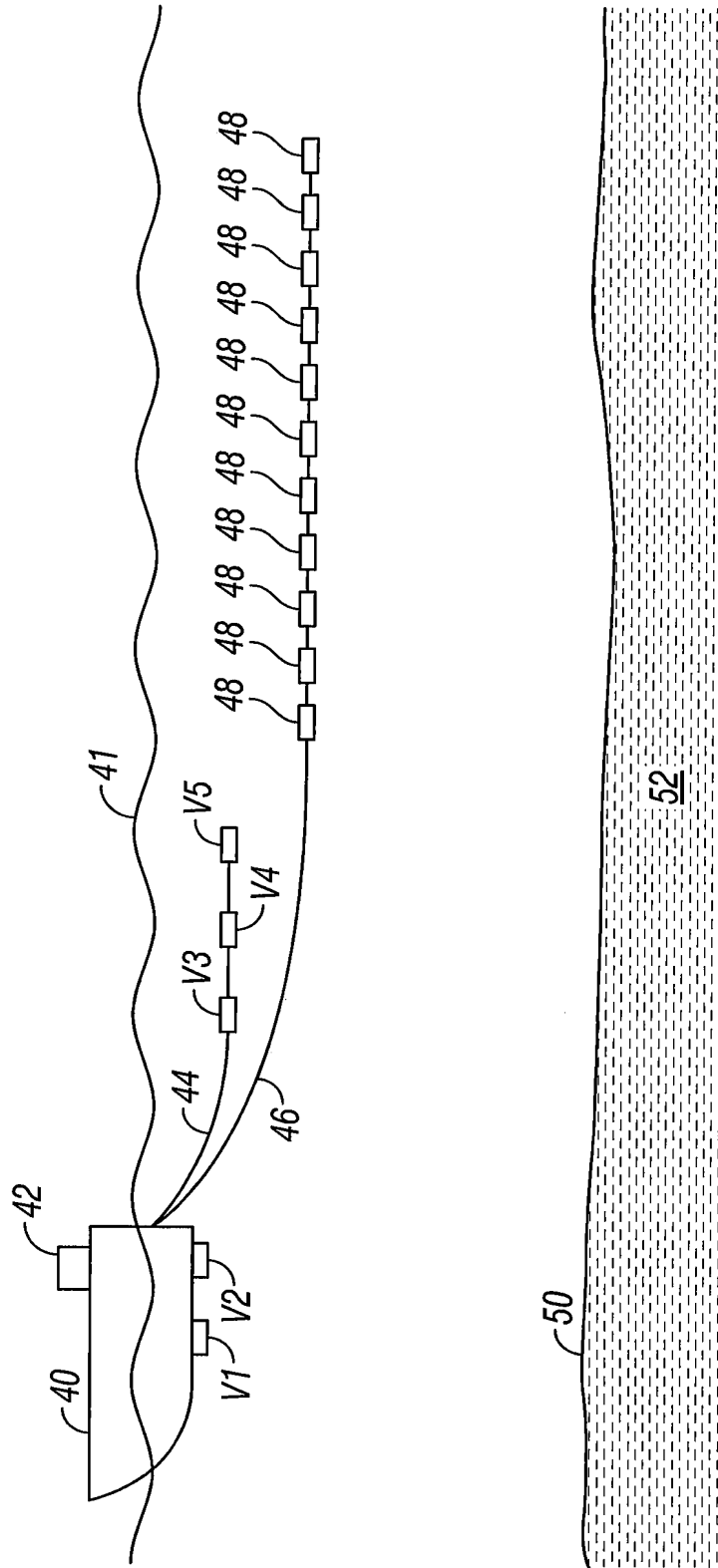


FIG. 4

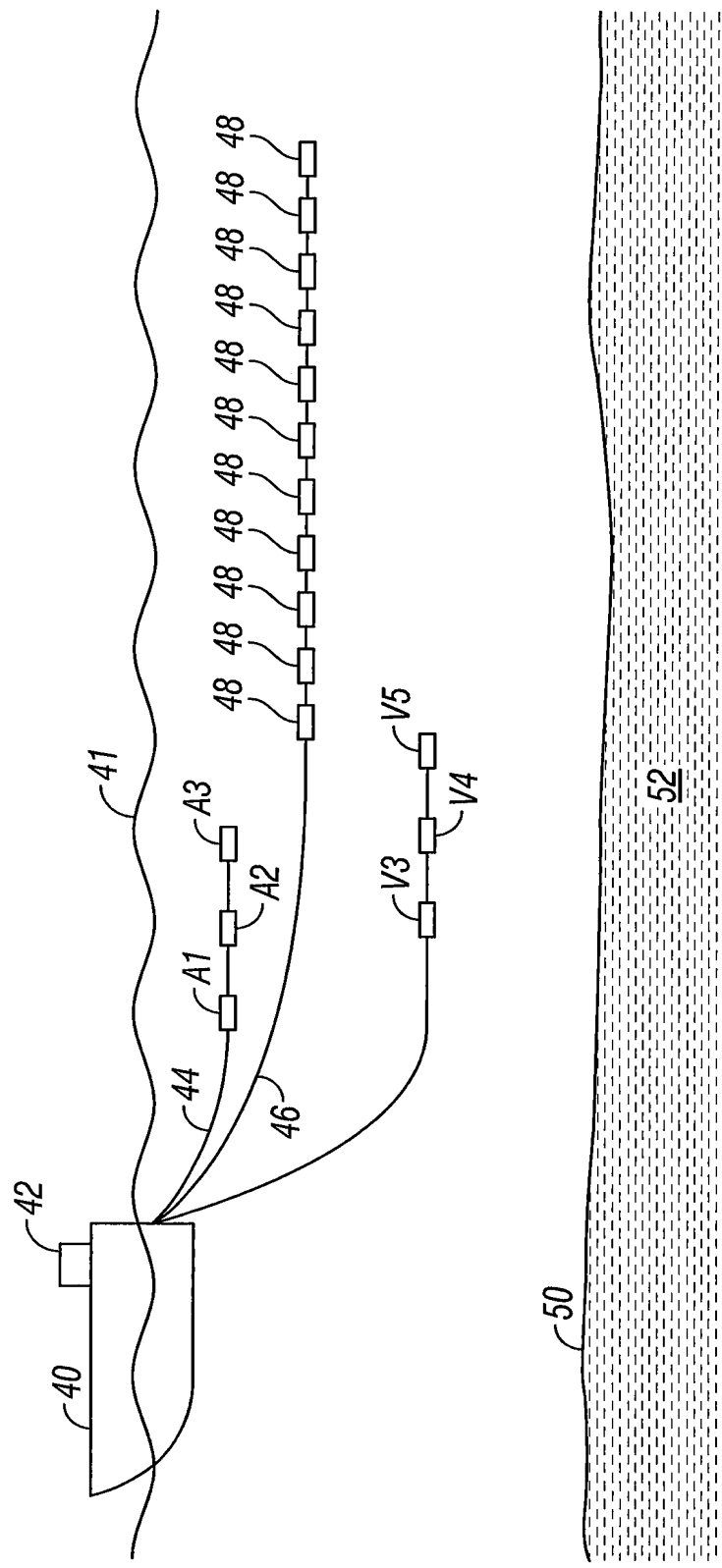


FIG. 5

RESUMO

Patente de Invenção: **"VIBRADOR ACÚSTICO MARÍTIMO POSSUINDO BAIXA AMPLITUDE DE FREQUÊNCIA APERFEIÇOADA"**.

5 A presente invenção refere-se a uma fonte sísmica que inclui
uma estrutura flexensora definindo um eixo mais longo e um eixo mais curto
e, pelo menos, um acionador acoplado à estrutura flexensora adjacente à
extremidade do eixo mais curto. A fonte sísmica poderá ser um componente
de um sistema de pesquisa sísmica marítima. O sistema de pesquisa
sísmica marítima poderá ser utilizado em um método de pesquisa sísmica
10 marítima.