



**INPI**  
INSTITUTO NACIONAL  
DA PROPRIEDADE  
INDUSTRIAL  
Assinado  
Digitalmente

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
**MINISTÉRIO DA ECONOMIA**  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

**CARTA PATENTE Nº PI 0810187-6**

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

**(21) Número do Depósito:** PI 0810187-6

**(22) Data do Depósito:** 11/04/2008

**(43) Data da Publicação do Pedido:** 23/10/2008

**(51) Classificação Internacional:** G01V 1/00.

**(30) Prioridade Unionista:** US 11/785,040 de 13/04/2007.

**(54) Título:** MÉTODO E SISTEMA DE INTERROGAÇÃO DE UM AMBIENTE FURO ABAIXO, E, APARELHO PARA INTERROGAR UM AMBIENTE FURO ABAIXO.

**(73) Titular:** CHEVRON U.S.A. INC., Companhia Norte-Americana. Endereço: 6001 Bollinger Canyon, Road, San Ramon, Califórnia 94583-2324, ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA(US)

**(72) Inventor:** CLARK M. THOMPSON; DON M. COATES; DAVID W. BECK.

**Prazo de Validade:** 10 (dez) anos contados a partir de 15/01/2019, observadas as condições legais

**Expedida em:** 15/01/2019

Assinado digitalmente por:  
**Alexandre Gomes Ciano**

Diretor Substituto de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

**“MÉTODO E SISTEMA DE INTERROGAÇÃO DE UM AMBIENTE FURO ABAIXO,  
E, APARELHO PARA INTERROGAR UM AMBIENTE FURO ABAIXO”**

**FUNDAMENTOS**

**Campo**

**[0001]** São apresentados métodos e sistemas para recepção e decodificação de informação eletromagnética e sua comunicação dentro de um poço.

**Informação sobre os fundamentos**

**[0002]** A patente US. 6.766.141 (Briles et al.) apresenta um sistema para telemetria remota no furo abaixo. Comunicação de telemetria é usada para monitorar condições de poço de óleo e aparelhos de registro que estão localizados nos arredores de uma extremidade de uma tubulação de recuperação de gás ou óleo.

**[0003]** Conforme descrito na patente US. 6.766.141, sistemas de telemetria conhecidos incluem uma estação base gerador/receptor de rádio frequência (RF) que se comunica eletricamente com a tubulação condutora localizado em um furo de sondagem. A frequência de RF é caracterizada como sendo uma radiação electromagnética entre 3Hz e 30GHz. Um módulo de eletrônica do furo abaixo tendo uma antena refletora recebe um sinal irradiado de portador a partir do gerador/receptor de RF. O sinal irradiado de portador é, então, modulado e refletido, a modulação sendo responsiva às medições do furo abaixo realizadas pelo módulo eletrônico. O sinal refletido modulado é transmitido pelo tubo à superfície do poço onde pode ser detectado pelo gerador/receptor de RF. O sinal detectado é analisado para determinar as condições de perfuração dentro do furo de sondagem.

**[0004]** Não obstante os benefícios deste sistema descrito acima, limitações de potência de sinal inerentes à técnica podem limitar a aplicabilidade global da técnica. Consequentemente, uma técnica aperfeiçoada poderia prover intensidade de sinal aperfeiçoada - particularmente onde um pulso eletromagnético (EM) for usado no lugar de sinais de RF padrão.

**SUMÁRIO**

**[0005]** Tendo em conta as limitações acima mencionadas da técnica anterior, a presente invenção provê potência de sinal aperfeiçoada utilizando pulso

eletromagnético (EM) (provido por um gerador de pulso EM), para comunicar e interrogar sem fio eficazmente com sensores e outros dispositivos localizados em um ambiente furo abaixo. Este aperfeiçoamento é reforçado por uma exploração do retardo de tempo entre o pulso inicial (a partir da superfície) e o momento em que o sinal refletido é recebido de volta à superfície. Além disso, esse aperfeiçoamento é possível usando anéis de ferrita indutores para isolar a tubulação de produção de um furo de poço do revestimento do furo de poço.

**[0006]** Em alguns modos de realização, a presente invenção está direcionada à métodos de interrogação de um ambiente furo abaixo localizado abaixo de uma superfície de um relevo baseados em pelo menos um pulso de energia eletromagnética (ou seja, um pulso EM) que é refletido em uma frequência de vibração de um ou mais transdutores (sensores) do furo abaixo. Os métodos incluem direcionar pelo menos um pulso de energia eletromagnética para um ambiente furo abaixo de tal forma que o pulso de energia eletromagnética interaja com pelo menos um transdutor furo abaixo de modo que pelo menos parte da energia eletromagnética contida no pulso seja refletida a uma frequência de vibração determinada pelo o pelo menos um transdutor furo abaixo. Os métodos também incluem o recebimento do pulso de energia refletido em um receptor localizado na superfície de um relevo, durante um intervalo de tempo predeterminado cujo intervalo de tempo predeterminado é sincronizado com base em retardo determinado pela profundidade do pulso refletido. Os métodos incluem processar o pulso de energia refletido para extrair a frequência de vibração e correlacionar a frequência de vibração à um parâmetro de ambiente furo abaixo.

**[0007]** De acordo com modos de realização alternativos, um método exemplificativo para interrogar um ambiente furo abaixo localizado abaixo de uma superfície de um relevo é baseado em pelo menos um pulso de energia eletromagnética, que é refletido em um ou mais transdutores do furo abaixo em uma frequência determinada pelas características do furo abaixo, incluindo a recepção do pelo menos um pulso de energia refletido em um receptor localizado na superfície de um relevo durante um intervalo de tempo predeterminado. Etapas exemplificativas

do método também incluem travar sobre a frequência de vibração do pulso de energia refletido e correlacionar a frequência travada a um parâmetro de ambiente furo abaixo.

**[0008]** Além disso, um sistema exemplificativo de interrogação de um ambiente furo abaixo, localizado abaixo de uma superfície de um relevo, é baseado em pelo menos um pulso de energia que é refletido de um transdutor furo abaixo para uma localização na superfície da superfície de um relevo incluindo meios para receber o pulso de energia modulado na superfície durante um intervalo de tempo predeterminado. O sistema também inclui meios para processar o pulso de energia recebido para extrair a frequência de modulação, e meios para correlacionar a frequência de modulação do pulso de energia à um parâmetro do transdutor, ou à uma característica do ambiente de furo abaixo.

**[0009]** Em outros modos de realização, a presente invenção provê um aparelho exemplificativo para interrogar um ambiente furo abaixo localizado abaixo de uma superfície de um relevo, o aparelho sendo incluído tipicamente em um sistema que transmite pulsos de energia para um transdutor furo abaixo que modula os pulsos de energia e retorna os pulsos de energia modulados para a superfície de um relevo. O aparelho inclui meios para receber os pulsos de energia modulados na superfície. Em alguns modos de realização, o aparelho inclui adicionalmente meios para amostragem dos pulsos de energia modulados e meios para determinar a frequência de modulação dos pulsos de energia amostrados. Além disso, o aparelho inclui meios para correlacionar a frequência de modulação às condições de ambiente furo abaixo.

**[0010]** Em alguns ou outros modos de realização, o aparelho inclui adicionalmente meios para receber os pulsos de energia modulados na superfície. O aparelho inclui adicionalmente meios para travar a modulação de frequência dos pulsos de energia quando a frequência de modulação estiver dentro de um intervalo de tolerância, e meios para correlacionar a frequência de modulação às condições do ambiente furo abaixo.

**[0011]** O precedente esboçou em termos gerais as características da presente

invenção a fim de que a descrição pormenorizada da invenção, a seguir, possa ser melhor compreendida. Outras características e vantagens da invenção serão descritas a seguir, constituindo o objetivo das reivindicações da invenção.

#### DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

**[0012]** Outras vantagens e características aqui descritas serão mais facilmente perceptíveis para aqueles experientes na técnica ao ler a descrição pormenorizada a seguir, relacionada com os desenhos anexos, nos quais:

as Figuras 1A-1D mostram um modo de realização exemplificativo de um aparelho para detecção de uma característica de um furo de sondagem;

a Figura 2A mostra uma cavidade ressonante exemplificativa para utilização com o aparelho da Figura 1;

a Figura 2B mostra um dispositivo de rede ressonante exemplificativo formado como uma estrutura mecânica eletricamente ressonante acoplada magneticamente para a realização de ressonância elétrica;

a Figura 2C ilustra uma conexão da cabeça de poço exemplificativa;

a Figura 3 mostra uma vista de fundo da cavidade ressonante exemplificativa da Figura 2A;

a Figura 4 mostra um modo de realização exemplificativo alternativo de uma cavidade ressonante, onde uma alimentação fluida ou mecânica exemplificativa para um transdutor fica localizada acima de uma vedação obturadora;

a Figura 5 mostra um sistema exemplificativo de interrogação de um ambiente furo abaixo através de um método de rastreamento por domínio do tempo;

a Figura 6A mostra um método exemplificativo para a detecção de uma característica de um furo de sondagem utilizando um método de rastreamento por domínio do tempo;

a Figura 6B mostra um gráfico exemplificativo de um sinal detectado usando o método de rastreamento por domínio do tempo;

a Figura 7 mostra um sistema exemplificativo de interrogação de um ambiente furo abaixo através de um método de rastreamento por domínio de frequência;

a Figura 8A mostra um método exemplificativo para a detecção de uma característica de um furo de sondagem através de um método de rastreamento por domínio de frequência; e

a Figura 8B mostra um gráfico exemplificativo de um sinal detectado usando o método de rastreamento por domínio de frequência.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

**[0013]** Como mencionado acima, a presente invenção utiliza um pulso eletromagnético (EM) para interrogar sem fio um ou mais transdutores (sensores) em um ambiente furo abaixo. Um pulso EM é uma rajada de energia eletromagnética de banda larga, alta intensidade e curta duração Ver FED-STD-1037C, "Telecommunications: Glossary of Telecommunication Terms," GSA, 7 de Agosto de 1996. Esses pulsos EM diferem marcadamente dos sinais de radiofrequência (RF) usados na patente US. 6.766.141, de Briles et al.

**[0014]** A Figura 1 mostra um aparelho de exemplificativo 100 para interrogação de um ambiente furo abaixo, de acordo com alguns modos de realização da presente invenção. Aparelho 100 será descrito abaixo em maior detalhe.

**[0015]** Como aqui referido, um ambiente furo abaixo pode ser uma área dentro ou abaixo de uma superfície de um relevo que inclui um furo de sondagem e a área circundando um furo de sondagem através da qual energia eletromagnética pode ser comunicada. O furo de sondagem pode ser uma cavidade que pode estar localizada dentro ou abaixo de uma superfície de um relevo, e que pode ser caracterizado por várias orientações, composições de material, temperatura, pressão, velocidade de fluxo, ou outro (s) parâmetro mensurável - todos podendo variar ao longo de seu comprimento. A energia eletromagnética pode ser processada para medir características desejadas do ambiente furo abaixo. O aparelho 100 mencionado acima inclui meios, como um tubo condutor 102, para conduzir um pulso através do furo de sondagem para interrogar o furo de sondagem e/ou o ambiente furo abaixo. Como aqui referido, a interrogação pode incluir a transmissão de energia eletromagnética (como um pulso EM) para um furo de sondagem, receber um pulso de energia refletida de componentes eletrônicos no furo de sondagem, e processar o

pulso de energia refletido para extrair informação relacionada às características do furo de sondagem e/ou ambiente furo abaixo.

**[0016]** Com referência ao aparelho exemplificativo 100 na Figura 1, é provida uma entrada 104, acoplada (por exemplo, conectada) ao tubo condutor 102, para aplicar energia eletromagnética ao tubo condutor 102. Em um modo de realização exemplificativo, a energia eletromagnética pode ser de qualquer frequência selecionada desejada, por exemplo, em função das características que devem ser medidas dentro do furo de sondagem e como uma função do comprimento e tamanho do ambiente furo abaixo.

**[0017]** A entrada 104 inclui uma sonda 106 acoplada ao tubo condutor 102. A sonda 106 pode ser formada, por exemplo, como um conector coaxial tendo um primeiro condutor (por exemplo, interno), acoplado eletricamente ao tubo condutor 102, e tendo um segundo revestimento condutor (por exemplo, externo) acoplado a um revestimento oco de furo de sondagem 111. Um isolador é usado para separar o condutor interno do revestimento condutor externo.

**[0018]** A entrada 104 pode incluir um isolante indutor, como um indutor de ferrita 108 ou outro indutor, ou componente, para isolar eletricamente a entrada 104 a partir de um primeiro potencial (por exemplo, um potencial, como um aterramento comum, do trajeto de corrente de retorno do revestimento do furo de sondagem 111) em uma localização nos arredores da entrada 104. O aparelho 100 pode incluir meios, como um gerador de sinal 105, acoplado à entrada 104 para gerar a energia eletromagnética a ser aplicada ao tubo condutor 102.

**[0019]** O revestimento oco do furo de sondagem 111 pode ser colocado dentro do furo de sondagem cujas características deverão ser monitoradas. O revestimento oco do furo de sondagem 111 pode, por exemplo, ser configurado de aço ou outro material adequado.

**[0020]** O tubo condutor 102 pode ser localizado dentro, e isolado eletricamente, do revestimento oco do furo de sondagem 111 usando espaçadores 116. Os espaçadores 116, por exemplo, podem ser configurados como centralizadores isolados que mantêm uma distância de separação do tubo condutor 102 das

paredes internas do revestimento do furo de sondagem 111. Estes espaçadores isolantes 116 podem ser configurados como discos formados a partir de qualquer material adequado, incluindo, mas não de modo limitativo, nylon.

**[0021]** O aparelho 100 inclui meios, como um dispositivo de rede ressonante 110 responsivos ao pulso, para ressonância a uma frequência que é modulada como uma função de uma característica do furo de sondagem. O dispositivo de rede ressonante 110 pode ser, por exemplo, qualquer dispositivo eletroacústico, ou outro dispositivo incluindo, mas não de modo limitativo, qualquer estrutura mecânica eletricamente ressonante acoplada magneticamente para a realização de uma ressonância elétrica, como a cavidade ressonante da Figura 2A, o circuito de tanque da Figura 2B, ou qualquer outro dispositivo apropriado. O dispositivo de rede ressonante pode ser conectado com, ou mecanicamente acoplado, ao tubo condutor. Um núcleo toroidal do dispositivo de rede ressonante pode ser acoplado magneticamente ao tubo condutor. O núcleo toroidal é um núcleo magnético formado como um meio pelo qual um campo magnético pode ser contido e/ou intensificado. Por exemplo, o dispositivo de rede ressonante pode ser uma bobina de volta única com uma seção transversal de 2,54cm enrolada ao redor de um núcleo de ferrita, ou pode ser usado qualquer outro dispositivo adequado, de qualquer forma, tamanho e configuração adequados.

**[0022]** Aqueles experientes na técnica apreciarão que um núcleo magnético seja um material afetado significativamente por um campo magnético em sua região, devido aos dipolos orientáveis dentro de sua estrutura molecular. Esse material pode confinar e/ou intensificar um campo magnético aplicado, devido à sua baixa relutância magnética. A indutância da ferrita da cabeça de poço 108 pode prover uma impedância indutora compacta em uma faixa de, por exemplo, 90-110ohm, ou maior ou menor, conforme desejado, em relação entre um ponto de alimentação de entrada no tubo e um curto-circuito do flange da cabeça de poço. Esta impedância, em paralelo com uma impedância característica de 47ohm, exemplificativa da linha de transmissão do tubo de revestimento, pode reduzir os sinais transmitidos e recebidos de, por exemplo, cerca de ~ 3dbV no ponto de alimentação de entrada

para um centro de banda típica a 50MHz. A permeabilidade magnética dos núcleos de ferrita pode variar de ~ 20 até pouco mais de 100, ou maior ou menor. Como tal, para uma dada indutância de um indutor de núcleo de ar, quando o material do núcleo é inserido, a indutância natural pode ser multiplicada por, aproximadamente, estes mesmos fatores. Materiais de núcleo selecionados podem ser utilizados para a faixa de frequência de, por exemplo, 10-100MHz, ou menor ou maior.

**[0023]** O dispositivo de rede ressonante 110 ilustrado na Figura 1 será descrito como a cavidade ressonante, no contexto da Figura 2A. No entanto, o núcleo de tanque da Figura 2B pode ser facilmente substituído, assim como qualquer outro dispositivo de rede ressonante adequado conhecido dos experientes na técnica. Com referência à Figura 1, a cavidade ressonante está conectada eletricamente ao tubo condutor e está localizada dentro do revestimento oco do furo de sondagem 111. Um comprimento "b" da cavidade ressonante dentro do revestimento oco do furo de sondagem é definida por um isolante indutor formado, por exemplo, como um núcleo toroidal 112 em uma primeira extremidade da cavidade ressonante, e por uma conexão 114 em um primeiro potencial (por exemplo, um aterramento comum) em uma segunda extremidade da cavidade ressonante. O dispositivo de rede ressonante 110 recebe a energia do pulso, e "vibra" à sua frequência natural.

**[0024]** Um meio para a detecção pode incluir um transdutor, provido em comunicação operacional com o dispositivo de rede ressonante 110, e acoplado (por exemplo, capacitiva ou magneticamente) ao primeiro potencial (por exemplo, aterramento comum). O transdutor é configurado para detectar uma característica associada ao furo de sondagem e para modular a frequência induzida no dispositivo de rede ressonante 111 quando um pulso é aplicado à entrada 104 da sonda 106. A frequência modulada pode ser processada para prover uma medida de característica do furo de sondagem. Ou seja, a frequência induzida pelo pulso é modulada por uma característica detectada do furo de sondagem e essa modulação de frequência pode ser processada para prover uma medida da característica. Normalmente, o transdutor e o dispositivo de rede ressonante são iguais.

**[0025]** Os meios de detecção podem incluir, ou estar associados a meios para

processamento, representados como um processador (por exemplo, o computador 121). Estes meios de processamento podem processar uma saída do dispositivo de rede ressonante quando transmitida através do revestimento do poço 111. O processador 121 pode prover um sinal representando a característica a ser medida ou monitorada. Em um modo de realização exemplificativo, por exemplo, o processador 121 pode ser configurado para processar o sinal recebido usando um método de rastreamento por domínio do tempo ou por domínio de frequência. Como aqui referido, a detecção inclui receber um pulso de energia refletido de um transdutor localizado no furo de sondagem e processar o pulso de energia refletido para extrair informação relacionada às características do furo de sondagem ou do ambiente do furo abaixo.

**[0026]** Em um modo de realização exemplificativo, pelo menos uma porção do revestimento oco do furo de sondagem 111 está no primeiro potencial (por exemplo, aterramento comum). Por exemplo, o revestimento oco do furo de sondagem 111 pode estar em um potencial de aterramento comum, tanto em uma localização nos arredores da entrada 104, quanto em uma localização em uma vizinhança do dispositivo de rede ressonante 110. O aterramento do revestimento oco do furo de sondagem 111 nos arredores da entrada 104 é opcional e estabelece uma impedância conhecida para o tubo condutor 102. O aterramento do revestimento oco do furo de sondagem 111 nos arredores do dispositivo de rede ressonante 110 permite que o comprimento da ressonância seja definido. Ou seja, a cavidade ressonante tem um comprimento dentro do revestimento oco do furo de sondagem 111 definido pela distância entre a bobina toroidal 112 e a conexão aterrada em uma segunda extremidade inferior da cavidade ressonante.

**[0027]** O transdutor do dispositivo de rede ressonante 110 pode ser configurado para incluir componentes elétricos passivos, como indutores e/ou capacitores, de modo que nenhuma energia seja necessária no furo abaixo. Durante uma montagem do aparelho 100, como mostrado na Figura 1, o tubo condutor pode ser montado em seções e um espaçador 116 pode ser incluído em cada junção entre as várias seções de tubo para assegurar que não ocorra curto-circuito do revestimento. Antes

de colocar o tubo condutor 102 e os dispositivos de rede ressonante 110 dentro de um furo de sondagem, um transdutor usado para detectar a frequência modulada pode ser calibrado utilizando, por exemplo, a interface gráfica do usuário (GUI) 123 e o processador 121.

**[0028]** Detalhes do aparelho exemplificativo da Figura 1A serão descritos mais adiante com relação à Figura 1B, que mostra um componente de telemetria exemplificativo do aparelho exemplificativo da Figura 1A.

**[0029]** Na Figura 1B, o tubo condutor 102 e o revestimento oco do furo de sondagem 111 estão isolados eletricamente um do outro através do indutor de ferrita 108. Quando o dispositivo de rede ressonante é um ressonador natural, o comprimento de onda da frequência de "vibração" ressonante pode ditar o tamanho (por exemplo, comprimento) do dispositivo. Aqueles experientes na técnica que apreciarão que a restrição ao tamanho pode ser influenciada (por exemplo, reduzida) "carregando" o dispositivo com indutância e/ou capacitância. Por exemplo, a quantidade de ferrita usada em um modo de realização exemplificativo pode ser selecionada como uma função da frequência desejada e considerações de tamanho.

**[0030]** Uma porta de sinal de instrumentação 122 é provida para receber a sonda 106. Uma configuração da cabeça de poço, como descrito na Figura 1B, está normalmente em curto-circuito com o revestimento oco do furo de sondagem 111. No entanto, o indutor de ferrita 108 alivia este curto-circuito e, desse modo, isola a sonda condutora da entrada 104 que está acoplada ao tubo condutor 102, a partir do topo da cabeça de poço que, em um modo de realização exemplificativo, está a potencial de aterramento comum. Em um modo de realização exemplificativo, devido a cabeça de poço ser aterrada através de um curto-circuito do flange da cabeça de poço 124 ao aterramento comum, o indutor de ferrita 108 isola o flange da cabeça de poço em curto-circuito do tubo condutor 102 utilizado para transmitir um pulso da sonda para a cavidade ressonante.

**[0031]** Uma impedância exemplificativa 126 entre o tubo condutor 102 e o revestimento oco do furo de sondagem 111, pode ser da ordem de 47ohm, ou menor ou maior. Esta porção do tubo condutor 102 serve como uma linha de transmissão

para a comunicação da eletrônica do furo abaixo, como o transdutor, com a eletrônica de superfície, como o processador 121.

**[0032]** A Figura 1C ilustra uma representação elétrica da cavidade ressonante e do transdutor nela incluído. Na Figura 1C, o núcleo toroidal 112 é representado como uma seção de indutor configurado de material de ferrita para conectar o tubo condutor 102 à cavidade ressonante 110. Como pode ser visto na Figura 1C, para um dispositivo de rede ressonante 110 configurado como uma cavidade ressonante, uma porção superior 132 da cavidade ressonante coincide com uma seção inferior do núcleo toroidal 112 e pode ser feita em uma impedância que, em um modo de realização exemplificativo, seja relativamente alta em comparação com a impedância entre o tubo condutor 102 e o revestimento 111. Por exemplo, a impedância na parte superior da cavidade ressonante pode ser da ordem de 2000ohm, ou menor ou maior. Para redes ressonantes acopladas magneticamente baseadas em núcleo de imã, essas medidas podem ter pouca ou nenhuma relevância.

**[0033]** Esta impedância diferencial relativamente grande na parte superior da cavidade ressonante em relação ao tubo condutor 102 acima da cavidade ressonante provê, pelo menos em parte, uma capacidade da cavidade ressonar, ou "vibrar", em resposta ao pulso e, assim, proporcionar um alto grau de sensibilidade na medição de uma característica de interesse. Além disso, a capacidade do transdutor de prover um grau relativamente alto de sensibilidade é auxiliada pela colocação de uma extremidade inferior da cavidade ressonante a potencial de aterramento comum.

**[0034]** A representação elétrica da Figura 1C do dispositivo de rede ressonante 110, para uma cavidade coaxial formada pelo tubo condutor 102 e o revestimento do poço 111 inclui uma representação da resistência da rede ressonante 128 e a indutância da rede ressonante 130. Uma porção inferior da cavidade definida pela conexão de aterramento comum 114 está ilustrada na Figura 1C, de tal forma que a cavidade seja definida pela parte inferior do núcleo toroidal 112 e a conexão de aterramento 114. Uma capacitância da luva associada à cavidade ressonante está representada como uma capacitância de luva 134.

**[0035]** O transdutor associado à cavidade ressonante para modular a frequência de vibração induzida pelo pulso, quando atuado pela característica a ser medida, está representado como um transdutor 136.

**[0036]** Para uma configuração da cavidade ressonante, o fundo da cavidade ressonante pode incluir uma vedação obturadora para conectar o tubo condutor ao revestimento oco do furo de sondagem 111. O obturador 138, conforme ilustrado na Figura 1C e na Figura 1A, inclui condutores expostos 140 que podem interfacear com porções condutoras da cavidade ressonante e do revestimento oco do furo de sondagem 111 para conseguir a conexão de aterramento comum 114 em uma extremidade inferior da cavidade ressonante.

**[0037]** A figura 1D ilustra outro detalhe do componente de telemetria do poço incluído em uma extremidade superior do tubo condutor 102. Na Figura 1D, uma conexão da sonda 106 para o tubo condutor 102 está ilustrada como passando através do revestimento oco do furo de sondagem 111, na entrada 104. A Figura 1D mostra que a sonda 106 está isolada do flange da cabeça de poço em curto-circuito 124, através do indutor de ferrita 108.

**[0038]** A Figura 2A mostra um detalhe exemplificativo de um dispositivo de rede ressonante 110 formado como uma cavidade ressonante. Na Figura 2A o revestimento oco do furo de sondagem 111 pode ser visto alojando o tubo condutor 102. O núcleo toroidal 112 está ilustrado, um fundo deste, na direção descendente indo para o furo de sondagem, constituindo uma extremidade superior da cavidade ressonante. O transdutor 136 está ilustrado como estando localizado dentro de uma porção da cavidade ressonante, e associado a uma luva sensora condutora 202, cuja capacitância está representado na Figura 1C como a capacitância de luva, da luva 134.

**[0039]** O núcleo toroidal de ferrita 112 pode ser configurado como um núcleo toroidal deslizado para dentro de uma peça de extremidade plástica. Estes materiais de ferrita estão prontamente disponíveis como núcleos disponíveis da Fair-Rite Incorporated, configurados como material tipo rádio frequência de  $\mu$  baixa, ou qualquer outro material adequado. Estão ilustrados parafusos de montagem 204, e

podem ser usados para manter a luva sensora e o transdutor no lugar em uma localização ao longo do comprimento do tubo condutor 102. Um fundo da cavidade ressonante, que coincide com uma conexão de aterramento comum do obturador 138 ao revestimento oco do furo de sondagem, não está mostrado na Figura 2.

**[0040]** A Figura 2B ilustra um detalhe exemplificativo de uma rede ressonante formada como um circuito de tanque. Na Figura 2B, múltiplos dispositivos de rede ressonante 206 associados a múltiplas unidades sensoras podem ser incluídos em, ou perto do obturador 138 (ver Figura 1). Na Figura 2B, estão providos ressonadores utilizando sensores capacitivos e transformadores de acoplamento de ferrita. Novamente, o furo de sondagem oco 111 pode ser visto alojando o tubo condutor 102. Cada dispositivo de rede ressonante 206 está configurado como um núcleo toroidal 208 tendo um ressonador de bobina 210 associado. Não precisam ser implementados nenhum casamento de impedância significativo, ou modificações no curto-circuito entre tubo-revestimento para uma coluna de poço existente. A estrutura de coluna coaxial pode conduzir diretamente a um curto-circuito no obturador 138 usando os ressonadores de ferrita toroidais conforme ilustrado na Figura 2B, sem uma seção casada como com a configuração da cavidade ressonante.

**[0041]** Em uma representação elétrica esquemática, o tubo condutor 102 pode ser representado como um enrolamento de volta única 214 na construção do transformador e vários enrolamentos secundários 216 podem ser empilhados sobre o único trajeto de corrente primária. A qualidade do curto-circuito do obturador é geralmente de pouca ou nenhuma significância. Alternativamente podem ser usados obturadores dentados metálicos. O sinal de retorno usando este transformador pode ser detectado, em modos de realização exemplificativos, sem usar baixa impedância de um curto-circuito de obturador.

**[0042]** No modo de realização exemplificativo da Figura 2B, o espaçamento entre múltiplos dispositivos de rede ressonante 206 pode ser selecionado como uma função da aplicação desejada. Os múltiplos dispositivos de rede ressonante 206 podem ser separados o suficiente para atenuar ou eliminar restrições mecânicas.

Além disso, a separação pode ser selecionada para atenuar ou eliminar o acoplamento entre os dispositivos 206.

**[0043]** Em um modo de realização exemplificativo, a distância de uma largura de um anel pode diminuir o acoplamento para aplicações típicas. A indutância e/ou capacitância de cada dispositivo de rede ressonante podem ser modificadas pela adição de voltas de bobina, e o número de voltas pode ser selecionado como uma função da aplicação. Por exemplo, o número de voltas definirá uma frequência de ressonância de cada dispositivo de rede ressonante. Modos de realização exemplificativos podem ser da ordem de 3 a 30 voltas, ou maior ou menor, conforme desejado.

**[0044]** Em modos de realização exemplificativos, a frequência utilizada para os múltiplos dispositivos de rede ressonante 206 pode ser da ordem de 3MHz a 100MHz, ou maior ou menor, conforme desejado. A frequência pode ser selecionado como uma função das características do material do tubo condutor 102 (por exemplo, aço ou titânio). A espessura da casca pode limitar o uso de frequências altas acima de um certo ponto, e uma extremidade inferior da faixa de frequências disponíveis pode ser selecionada em função da simplificação da construção do dispositivo de rede ressonante. No entanto, se uma frequência muito baixa for selecionada, o desacoplamento do curto-circuito de conexão da cabeça de poço deve ser considerado.

**[0045]** Desse modo, o uso de materiais magnéticos de ferrita pode simplificar mecanicamente os dispositivos de rede ressonante do furo abaixo, e pode permitir algumas alterações nos componentes de poço convencionais. A utilização de um toróide de ferrita magnética pode permitir que o material magnético realce o campo magnético e, conseqüentemente, a indutância, no trajeto de corrente em regiões compactas muito localizadas. Assim, o empilhamento de múltiplos dispositivos de rede ressonante 206 em um local remoto no furo de sondagem pode ser conseguido com interação mínima entre os múltiplos dispositivos. Os múltiplos dispositivos sensores podem ser incluídos para detectar múltiplas características. A utilização de um toróide de ferrita magnética também pode ser usada para conseguir distâncias

de isolamento relativamente curtas na conexão da cabeça de poço para acoplar cabos de sinal ao tubo condutor 102, como mostra a Figura 2C.

**[0046]** A Figura 2C ilustra um modo de realização alternativo exemplificativo de uma conexão da cabeça de poço, onde um carretel 218 é provido no flange da cabeça de poço 124 para acomodar o isolador de ferrita e conexões de sinal. Um carretel exemplificativo pode, por exemplo, ser da ordem de 20,32 a 30,48cm de altura, ou ter qualquer outro tamanho adequado para acomodar a aplicação específica. O carretel 218 é usado para a conexão de sinal à coluna de tubos.

**[0047]** O dispositivo de rede ressonante, configurado de um carretel "toroidal", pode ser separado e operado substancialmente independente das unidades sensoras que são configuradas de forma semelhante e colocadas em uma vizinhança do carretel 218. Uma indutância maior em uma largura do carretel toroidal pode ser usada para isolar o ponto de alimentação de sinal na conexão da cabeça de poço. Como está representado na Figura 2C, a corrente sobre a superfície do tubo induzirá campos magnéticos dentro do toróide de ferrita para a intensificação indutora do trajeto de corrente do tubo.

**[0048]** A Figura 3 ilustra uma vista dos dispositivos das Figuras 2A e 2B do furo abaixo olhando para cima na Figura 2. Na Figura 3, o transdutor 136 pode ser visto para ser conectado através de, por exemplo, cabos elétricos 302 tanto à luva sensora 202, quanto ao tubo condutor 102. A luva sensora 202, por sua vez, está acoplada capacitivamente ao revestimento oco do furo de sondagem 111 através da capacitância de luva 134.

**[0049]** A Figura 4 ilustra um modo de realização alternativo exemplificativo no qual o obturador 138 foi modificado para incluir uma extensão de duto 402 para uma zona de interesse que está mais profunda no poço do que uma posição do anel de ferrita, onde a característica do poço deve ser medida. Esta extensão 402 pode, em um modo de realização exemplificativo, ser uma porta direta para detectar, por exemplo, uma pressão ou temperatura utilizando um fluido intermediário para o sensor.

**[0050]** Em modos de realização exemplificativos, transdutores, como

transdutores capacitivos, são montados perto da parte superior da cavidade ressonante como um elemento elétrico da luva sensora 202. Parâmetros remotos podem ser levados para o sensor na cavidade ressonante através de um duto que passa através, e para uma unidade de detecção vedada. A medição de um parâmetro desejado pode, então, ser monitorada remotamente. O monitoramento pode ser estendido usando-se um mecanismo mecânico a partir do sensor para reposicionar o sensor dentro da cavidade ressonante em diferentes localizações ao longo do comprimento do tubo condutor 102. Na Figura 4 está provido um duto de sensor 404 para uma zona de temperatura ou pressão a ser monitorada.

**[0051]** Os modos de realização exemplificativos de aparelhos 100, como mostrados, por exemplo, nas Figuras 1-4, podem ser implementados em diversos ambientes do furo abaixo, por exemplo, localizações abaixo de uma superfície de um relevo, que incluam, mas não de modo limitativo, relevos em declive, relevos costeiros e oceânicos, relevos fluviais, e relevos montanhosos e glaciais. Geralmente, o circuito de transmissão e recepção é provido em uma localização acima da superfície. Em um ambiente de mar aberto ou meio aquático, o circuito de transmissão e recepção pode estar localizado em uma plataforma ou estrutura acima da superfície da água. Cabos coaxiais ou outro conduto adequado podem ser usados para transmitir e receber sinais entre a plataforma e o tubo condutor 102, que está localizado no leito do oceano. Alternativamente, nestes ambientes de mar aberto, os circuitos de transmissão e recepção podem estar localizados no leito do mar.

**[0052]** A Figura 5 ilustra um sistema exemplificativo de interrogação de um ambiente de furo abaixo através de um método de rastreamento por domínio do tempo.

**[0053]** Na Figura 5, está provida uma seção de pulso representando o gerador de sinal 105 da Figura 1A para transmitir um pulso exemplificativo 502. Este pulso é provido a um acoplador direcional provido de portas 504 associado à sonda 106 da Figura 1A. Durante um pulso inicial, um receptor de alta sensibilidade 505 associado ao processador de sinal 121 é desabilitado e o pulso é aplicado ao tubo condutor

102.

**[0054]** O processador 121 controla acoplador direcional provido de portas 504 para se ligar ao receptor 505 e, desse modo, detectar um retorno do dispositivo de rede ressonante 110 localizado na cavidade ressonante. Esse retorno é geralmente descrito como a frequência de vibração 508.

**[0055]** A capacidade do receptor 505 de detectar um sinal refletido a partir do dispositivo de rede ressonante 110, quando o pulso exemplificativo 502 é transmitido pelo gerador de sinal acima da superfície 105, pode ser afetada pela profundidade da sonda no furo de sondagem (por exemplo, maior do que 24,38m ou qualquer outra profundidade como desejado) e pelo ruído eletrônico gerado no furo de sondagem, os dois podendo resultar em uma redução na intensidade do sinal refletido.

**[0056]** Para reduzir esses efeitos, a técnica do método de rastreamento por domínio do tempo estabelece um tempo específico de transmissão do pulso e de retorno do pulso, que permite um controle preciso da sequência da porta do receptor. Um sistema de sincronização e retardo 510 pode definir um retardo preestabelecido (por exemplo, 8150ns, como ilustrado na Figura 5) para controlar a as portas do receptor 505 para a recepção do pulso de retroalimentação. Durante a operação de portas do receptor em 505, o ping gerado pelo dispositivo de rede ressonante 121 passa através do acoplador direcional provido de porta 504 e através de uma unidade de filtro passa-faixa 512. Um sinal filtrado da unidade de filtro passa-faixa 512 é suprido a registrador de sinal analógico-para-digital 514 e para uma unidade de controle mestre (por exemplo, microprocessador, como um Pentium ou outro microprocessador adequado) do processador 121. Um profissional do ramo apreciará que qualquer uma das funcionalidades ilustradas na Figura 5 pode ser implementada em hardware, software, firmware ou qualquer combinação adequada.

**[0057]** Um sistema de ligação de telemetria/comunicação 516 pode ser provido para transmitir a informação obtida a partir do furo de sondagem para qualquer localização desejada. O sistema de ligação de telemetria/comunicação pode ser qualquer sistema de transmissão e/ou recepção adequado, incluindo mas não de

modo limitativo, sistemas sem fio e/ou cabeados.

**[0058]** A Figura 6A mostra um método exemplificativo para detectar uma característica de um furo de sondagem usando o método de rastreamento por domínio do tempo e, por exemplo, um aparelho como descrito em relação à Figura 5.

**[0059]** Na Figura 6A, no bloco 602, o operador pode definir parâmetros de tempo (por exemplo, através da interface de usuário geral). Estes parâmetros podem incluir, não de modo limitativo, uma velocidade de pulso, uma altura de pulso, um retardo recebido, e assim por diante. No bloco 604, é suprido um pulso (por exemplo, disparado) ao tubo condutor 102 através do acoplador direcional.

**[0060]** Ao detectar um sinal de reflexão, após um retardo especificado, o sistema de sincronização e retardo 510 (ver Figura 5) abre uma porta de recepção para detectar a frequência de vibração modulada do dispositivo de rede ressonante 110 (Bloco 606). Esta frequência de vibração modulada constitui uma vibração que entra no filtro passa-faixa, e que é registrada pelo conversor analógico-para-digital (A/D) 512 (Bloco 608).

**[0061]** No bloco 610, uma assinatura digitalizada do sinal vibratório pode ser processada para a frequência, usando, por exemplo, uma transformação rápida de Fourier (FFT). No bloco 612, a frequência de vibração pode ser equalizada, via software, como tabelas de consulta contidas dentro do processador 121, para uma característica particular ou parâmetro de filtro LC do dispositivo de rede ressonante 110 e, então, preparada para transmissão ou armazenamento.

**[0062]** A Figura 6B mostra um gráfico exemplificativo do sinal reflexivo detectado sob o método de rastreamento por domínio do tempo.

**[0063]** A Figura 7 ilustra um sistema exemplificativo de interrogação de um ambiente furo abaixo através de um método de rastreamento por domínio de frequência.

**[0064]** Na Figura 7, meios geradores de pulso 702, como o gerador de sinal 105 (Figura 1A), gera um pulso eletromagnético exemplificativo (EM). Um acoplador direcional provido de portas 704 é conectado para receber o pulso, e durante um ciclo de transmissão, desabilita o receptor 706 de modo que o pulso possa ser

aplicado ao tubo condutor 102. Meios não-nucleares para a geração de pulsos EM são bem conhecidos daqueles da comunidade de armas nucleares. Estes geradores de pulso EM são normalmente utilizados para testar dispositivos eletrônicos através da simulação de pulsos eletromagnéticos associados às explosões nucleares. Ver, por exemplo, as patentes US 3.562.741 (McEvoy et al.); 4.430.577 (Bouquet); 4.845.378 (Garbe et al.), e 5.150.067 (McMillan).

**[0065]** O processador 121 controla o acoplador direcional provido de portas 704 para se ligar ao receptor 706 e, desse modo, detectar um retorno do dispositivo de rede ressonante 110 localizado na cavidade ressonante.

**[0066]** Ao usar a técnica acima da superfície, por exemplo, uma unidade retardo 908 pode ser configurada (por exemplo, programada) para um retardo preestabelecido para controlar as portas do receptor 706 para a recepção do pulso de retroalimentação. Durante a operação das portas do receptor 706, o ping gerado pelo dispositivo de rede ressonante 110 passa através do acoplador direcional provido de portas 704 e através de um filtro passa-faixa 905. O receptor 706 é ligado para receber o sinal filtrado. O receptor 706 pode incluir uma malha de captura de fase (PLL) e um circuito de retroalimentação (circuito PLL) 708 para travar sobre a frequência desejada.

**[0067]** O circuito PLL 708 pode ser implementado através de um filtro passa-baixa 710, que recebe sinal do filtro passa-faixa 705. Amplificadores 712 podem ser conectados para receber a saída filtrada do filtro passa-baixa 710 e prover o sinal amplificado em sua saída para um conversor analógico-para-digital (A/D) 714. A saída do conversor A/D 714 é recebida por um meio de controle de retroalimentação 716, como um controlador de derivada-integral proporcional (PID) ou outro dispositivo lógico programável, como desejado. O controlador de retroalimentação 716 pode ser configurado para calcular uma diferença entre a frequência detectada e a frequência desejada para determinar quando a frequência detectada está dentro de uma tolerância desejada. Quando a frequência detectada estiver dentro da tolerância desejada o controlador de retroalimentação 716 provê um sinal de saída adequado para um oscilador 718 de modo que o circuito PLL 708 possa travar sobre a frequência de pulso detectada.

**[0068]** Uma vez que o circuito PLL 708 trava sobre a frequência do pulso, o processador usa o valor de frequência como um endereço em uma tabela de consulta para obter um valor de temperatura correspondente, um valor de pressão, ou outro valor que represente uma característica mensurável do ambiente furo abaixo .

**[0069]** A Figura 8A mostra um método exemplificativo para a detecção de uma característica de um furo de sondagem usando um método de rastreamento por domínio de frequência e um aparelho como descrito em relação à Figura 5. Na Figura 8A, no bloco 802, o operador pode estabelecer os parâmetros de tempo como discutido anteriormente em relação ao método de rastreamento por domínio do tempo da Figura 6A. É provida uma seção de pulso representando o gerador de sinal 105 da Figura 1A para transmitir um pulso exemplificativo. Este pulso é suprido a um acoplador direcional provido de portas 804 associado à sonda 106 da Figura 1A. Durante um pulso inicial, um receptor de alta sensibilidade 505 associado ao processador de sinal 121 está desabilitado e o pulso é aplicado ao tubo condutor 102. O processador de 121 controla o sincronismo do acoplador direcional provido de portas 504 para se ligar ao receptor 505 ou, quando o pulso exemplificativo é gerado pelo gerador de sinal acima do solo 105.

**[0070]** No bloco 806, ao detectar um sinal de reflexão, uma porta de recepção é aberta para detectar a frequência de vibração modulada do dispositivo de rede ressonante 110. O receptor filtra e amplifica o sinal filtrado para minimizar o ruído (bloco 808). O receptor usa uma malha de captura de fase (PLL) e um circuito de retroalimentação 906 para travar sobre a frequência desejada (bloco 810). O circuito PLL 906 permite que o processador 121 trave sobre a frequência de vibração dos pulsos vibratórios gerados pelo dispositivo de rede ressonante 110. O circuito de retroalimentação permite que o processador 121 ajuste sua configuração de frequência quando um pulso é detectado, e mantém a frequência estabelecida ou travada quando um pulso não é detectado.

**[0071]** Quando a frequência detectada está dentro de uma tolerância desejada, a frequência é travada e usada como um endereço para um valor numérico em uma

tabela de consulta (LUT) (bloco 812). O valor numérico representa uma temperatura medida, pressão ou outra característica mensurável do furo de sondagem.

**[0072]** O processador 121 usa uma janela de detecção que observa 10-20 ciclos ao longo do tempo. O número de ciclos necessário para travar com precisão sobre uma frequência é dependente da relação sinal-para-ruído (S/N) do pulso detectado. O número de ciclos é indiretamente proporcional à relação S/N. Os pulsos são recebidos a uma taxa de 10MHz a 100MHz, ou maior ou menor, conforme desejado. O processador 121 demodula os pulsos recebidos para realizar uma palavra de 12-bit, que consiste de 10 bits de dados (2 bits de excesso).

**[0073]** A Figura 8B mostra um gráfico exemplificativo de um sinal reflexivo detectado sob o método de rastreamento por domínio de frequência.

**[0074]** Existem numerosas variações adicionais sobre os modos de realização descritos acima. Algumas destas variações serão descritas abaixo.

**[0075]** Em alguns modos de realização, o sinal pode ser digitalizado. A digitalização permite o processamento do sinal utilizando algoritmos que podem intensificar a relação sinal-para-ruído (S/N) e pode prover uma maneira de selecionar sinais desejados de reflexões espúrias que possam ocorrer a partir de não-sensores.

**[0076]** Em alguns modos de realização, um acoplador de onda direcional pode ser empregado para impedir reflexões do sinal quando ele é transmitido entre a superfície e os sensores do furo abaixo. Pode acontecer que reflexões indesejáveis possam resultar de divergências de impedância em conexões entre cabos e dispositivos no sistema. Acopladores de onda direcional podem minimizar estas reflexões espúrias. Estes dispositivos são conhecidos na técnica e estão disponíveis em companhias de suprimentos eletrônicos, como a Meca Electronics, Inc., Denville, NJ.

**[0077]** Em alguns modos de realização, é realizado uma retransmissão superfície-superfície do sinal transmitido quando ele é recebido na superfície do poço, por exemplo, conforme descrito na patente US. 6.434.372 de Neagley et al.

**[0078]** Em alguns modos de realização, dispositivos furo abaixo (por exemplo,

válvulas) podem ser acionados seletivamente usando a energia eletromagnética transmitida a partir da superfície. A energia pode ser transmitida a partir da superfície sob a forma de um pulso ou em um formato de onda contínua ou outra forma electromagnética. A energia é armazenada ao longo do tempo em um banco de capacitores furo abaixo e liberada quando acionamento da válvula ou de outro dispositivo for exigido. A descarga seletiva do banco de capacitores e, consequentemente, a atuação, pode ser efetuada com um dispositivo de rede ressonante separado, projetado para vibrar a uma frequência distinta.

**[0079]** Aqueles experientes na técnica apreciarão que os modos de realização aqui apresentados descritos são apenas a título de exemplo e que existirão numerosas variações. A invenção é limitada apenas pelas reivindicações que abrangem os modos de realização descritos neste documento, bem como variações aparentes àqueles experientes na técnica.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de interrogação de um ambiente furo abaixo de uma superfície de um relevo, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

direcionar pelo menos um pulso de energia eletromagnética para um ambiente furo abaixo de modo que o pulso de energia eletromagnética interaja com pelo menos um transdutor furo abaixo de forma que pelo menos alguma energia eletromagnética contida no pulso seja refletida a uma frequência de vibração determinada pelo o pelo um transdutor furo abaixo;

receber o pulso de energia refletido em um receptor localizado na superfície de um relevo durante um intervalo de tempo predeterminado;

processar o pulso de energia recebido para extrair a frequência de vibração utilizando um método de processamento selecionado do grupo consistindo de rastreamento por domínio do tempo, rastreamento por domínio de frequência, e combinações dos mesmos, e

correlacionar a frequência de vibração à um parâmetro do transdutor, onde o mencionado parâmetro se correlacione adicionalmente a uma condição no ambiente furo abaixo.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do processamento ser realizado usando rastreamento por domínio do tempo, e onde o intervalo de tempo predeterminado é sincronizado baseado em um retardo determinado pela profundidade do pulso de energia refletido.

3. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado adicionalmente pelo fato de compreender registrar a frequência de vibração do pulso de energia refletido.

4. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato da etapa de recepção compreender controlar uma porta do receptor, baseado em um retardo predefinido ou compreender excluir sinais de baixa potência que sejam iguais, ou quase iguais à frequência de vibração.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da etapa de processamento ser realizada usando rastreamento por domínio de

frequência e onde a etapa de recepção envolve travar sobre a frequência de vibração do pulso de energia refletido.

6. Método de acordo com a reivindicação 2 ou 5, caracterizado pelo fato dos pulsos de energia refletidos serem gerados a uma frequência dentro de uma faixa de 10 MHz a 100KHz.

7. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato da etapa de recepção compreender controlar uma porta do receptor baseado em um retardo determinado pela profundidade do pulso de energia refletido.

8. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato da etapa de travamento compreender comparar a frequência de vibração do pulso de energia refletido à uma frequência desejada.

9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato da frequência de vibração ser travada quando um resultado da correlação estiver dentro de um intervalo de tolerância.

10. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato do receptor manter a frequência de vibração travada quando estiver fora do intervalo de tempo predeterminado.

11. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato da etapa de recepção compreender sincronizar o intervalo de tempo predeterminado com um retardo determinado pela profundidade do pulso de energia refletido.

12. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato da correlação compreender endereçar uma tabela de consulta baseada em um valor de frequência de vibração travada.

13. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de pelo menos um transdutor furo abaixo compreender pelo menos um componente indutor e pelo menos um componente capacitivo.

14. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da etapa de processar o pulso de energia recebido compreender uma sub-etapa de digitalizar a informação contida no pulso de energia recebido usando algoritmos que podem intensificar a relação sinal-para-ruído.

15. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado adicionalmente pelo fato de compreender uma etapa de retransmitir a informação contida no pulso de energia recebido como um sinal para um receptor de superfície remoto.

16. Sistema de interrogação de um ambiente furo abaixo que está localizado abaixo de uma superfície de um relevo, caracterizado pelo fato de ser baseado em pelo menos um pulso de energia que é refletido em uma frequência de modulação de pelo menos um transdutor furo abaixo para a superfície de um relevo, o sistema compreendendo:

um meio para receber o pulso de energia modulada na superfície durante um intervalo de tempo predeterminado;

um meio para processar o pulso de energia recebido para extrair a frequência de modulação; e

um meio para correlacionar a modulação de frequência do pulso de energia à um parâmetro do transdutor ou uma característica do ambiente furo abaixo.

17. Sistema de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato de pelo menos um transdutor furo abaixo compreender pelo menos uma estrutura ressonante indutora e capacitiva.

18. Sistema de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de pelo menos uma estrutura indutora isolar a tubulação de produção do revestimento no ambiente furo abaixo.

19. Sistema de acordo com a reivindicação 16, caracterizado adicionalmente pelo fato de compreender um meio para controlar uma porta do meio receptor baseado em um retardo determinado pela profundidade do pulso de energia refletido.

23. Sistema de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato do meio de recepção compreender um meio para travar sobre a frequência de modulação do pulso de energia quando a frequência de modulação estiver dentro de um limiar.

21. Sistema de acordo com a reivindicação 20, caracterizado pelo fato do meio de processamento ser configurado para excluir sinais de baixa potência que sejam iguais ou quase iguais à frequência de modulação.

22. Sistema de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de compreender um meio para comparar a frequência de modulação a uma frequência de modulação desejada.

23. Sistema de acordo com a reivindicação 22, caracterizado pelo fato do meio de travamento travar sobre a frequência de modulação quando um resultado produzido pelo meio de comparação estiver dentro de um intervalo de tolerância.

24. Sistema de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato do mencionado sistema compreender dois ou mais transdutores do furo abaixo tendo frequências de vibração ressonantes diferentes.

25. Sistema de acordo com a reivindicação 16, caracterizado adicionalmente pelo fato do compreender um meio para atuar um dispositivo furo abaixo, onde a mencionada atuação é efetuada por um pulso de energia eletromagnética que vibra um transdutor acoplado ao mencionado dispositivo.

26. Sistema de acordo com a reivindicação 16, caracterizado adicionalmente pelo fato de compreender um acoplador de onda direcional para minimizar reflexos de sinais espúrios.

27. Aparelho para interrogar um ambiente furo abaixo localizado abaixo de uma superfície de um relevo, o aparelho estando incluído em um sistema que transmite pulsos de energia para pelo menos um transdutor furo abaixo que modula os pulsos de energia e retorna os pulsos de energia modulados para uma localização na superfície de um relevo, caracterizado pelo fato de compreender:

um meio para receber os pulsos de energia modulados na superfície,

um meio para amostrar os pulsos de energia modulados;

um meio para detectar uma frequência de modulação dos pulsos de energia amostrados; e

um meio para correlacionar a frequência de modulação às condições do ambiente furo abaixo.

28. Aparelho para interrogar um ambiente furo abaixo localizado abaixo de uma superfície de um relevo, o aparelho estando incluído em um sistema que transmite pulsos de energia para pelo menos um transdutor furo abaixo que modula os pulsos de energia e retorna os pulsos de energia modulados para uma localização na superfície de um relevo, caracterizado pelo fato de compreender:

um meio para receber os pulsos de energia modulada na superfície,

um meio para travar sobre uma frequência de modulação dos pulsos de energia quando a frequência de modulação estiver dentro de um intervalo de tolerância, e

um meio para correlacionar a frequência de modulação às condições do ambiente furo abaixo.

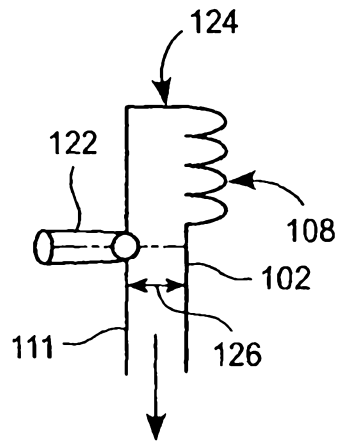


FIG. 1B

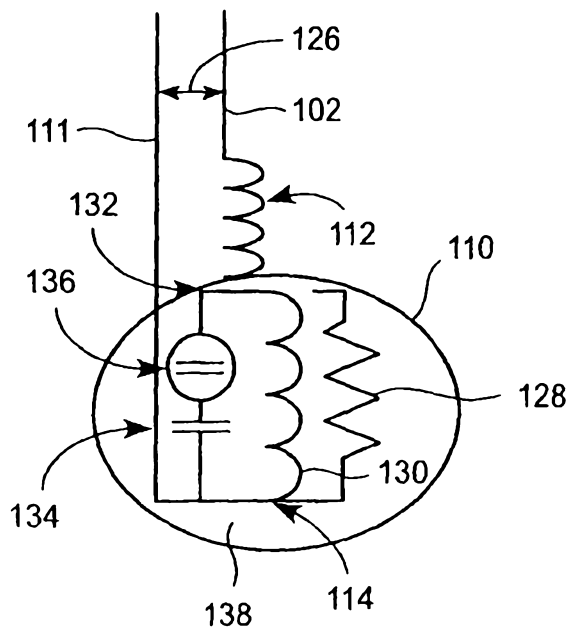


FIG. 1C

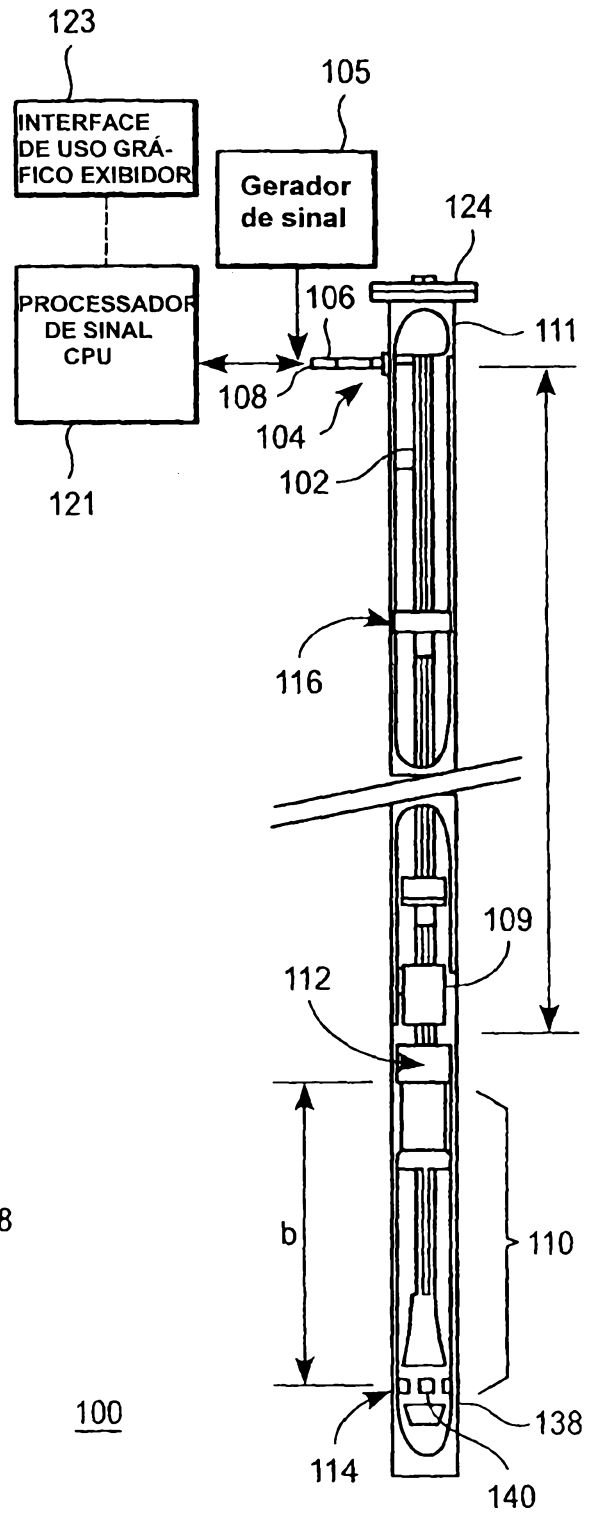


FIG. 1A

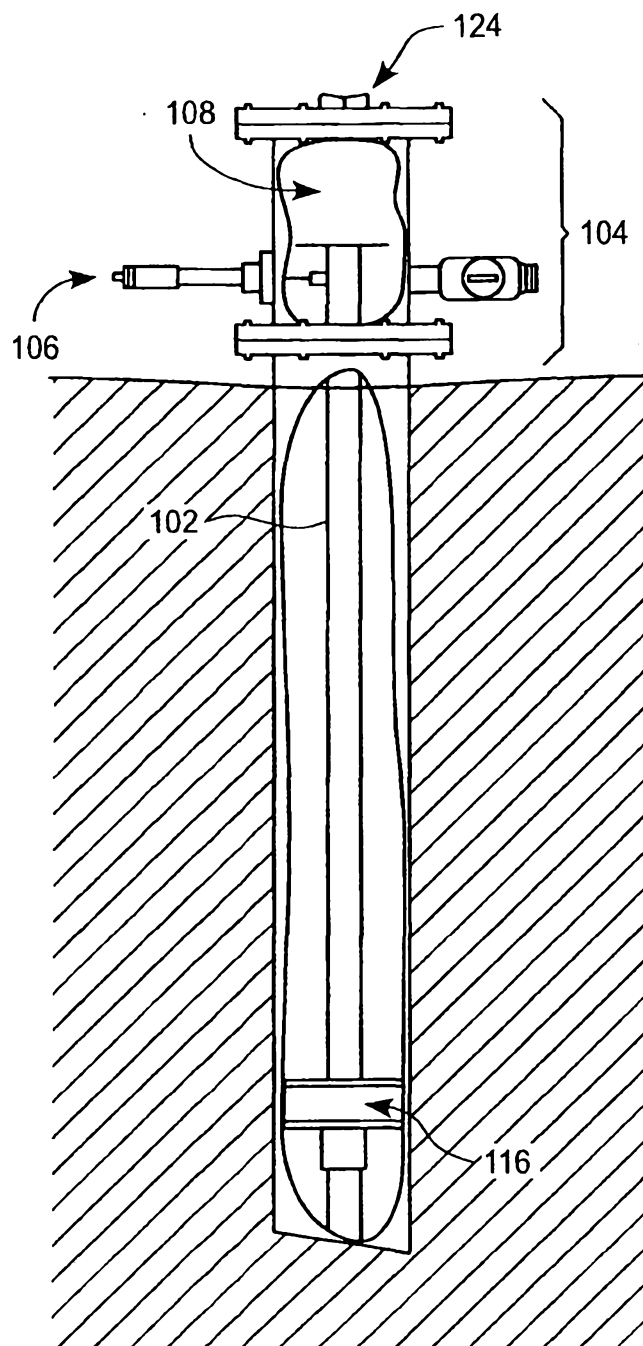
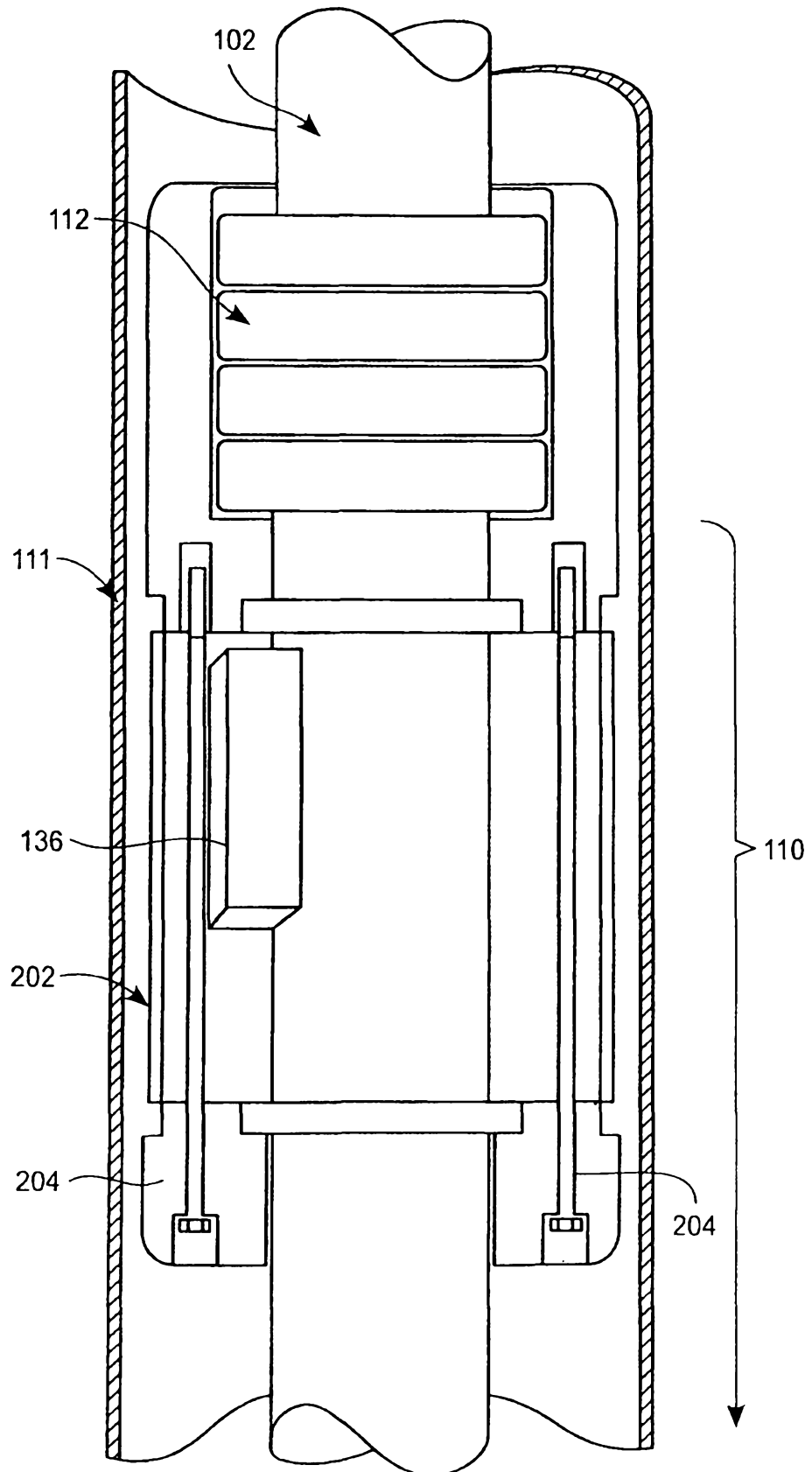


FIG. 1D

FIG. 2A



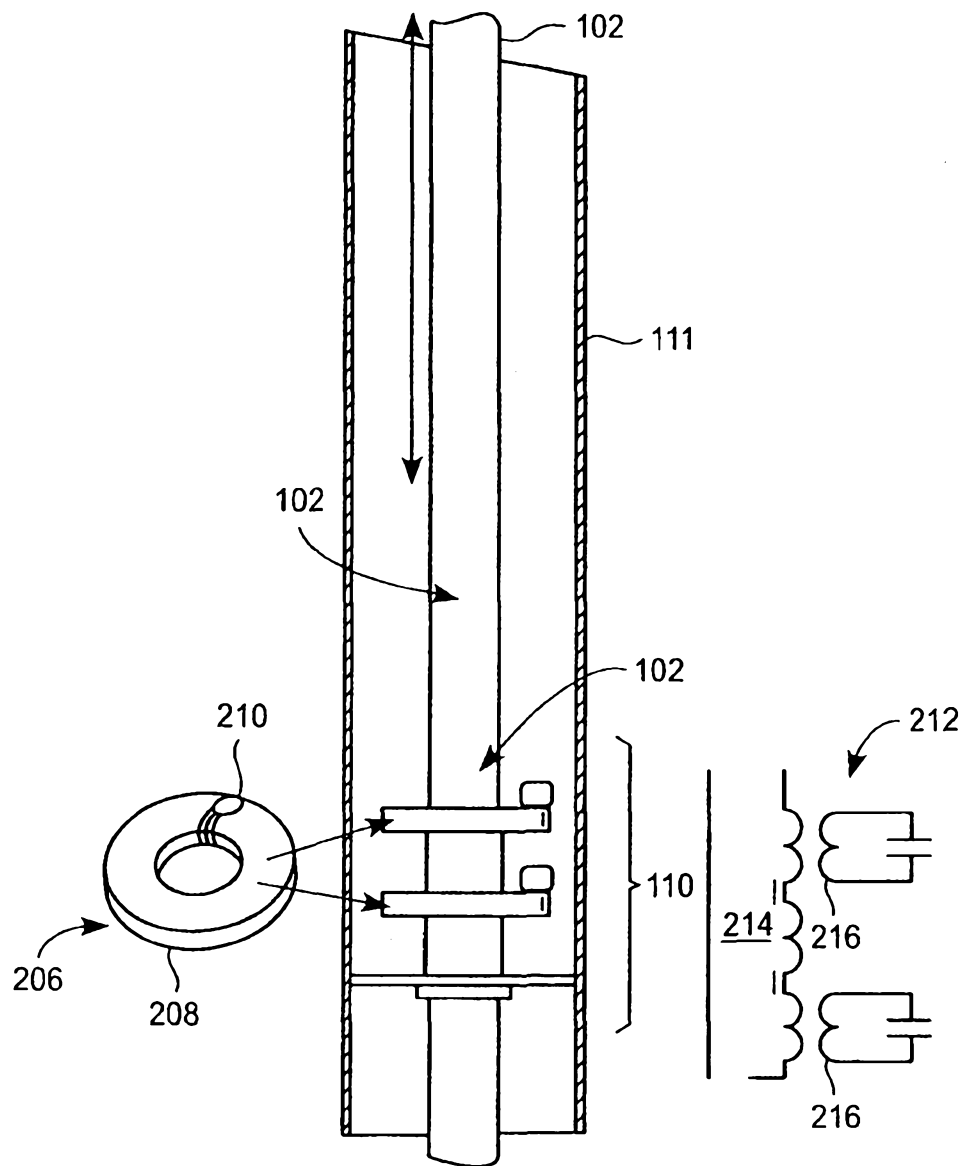


FIG. 2B

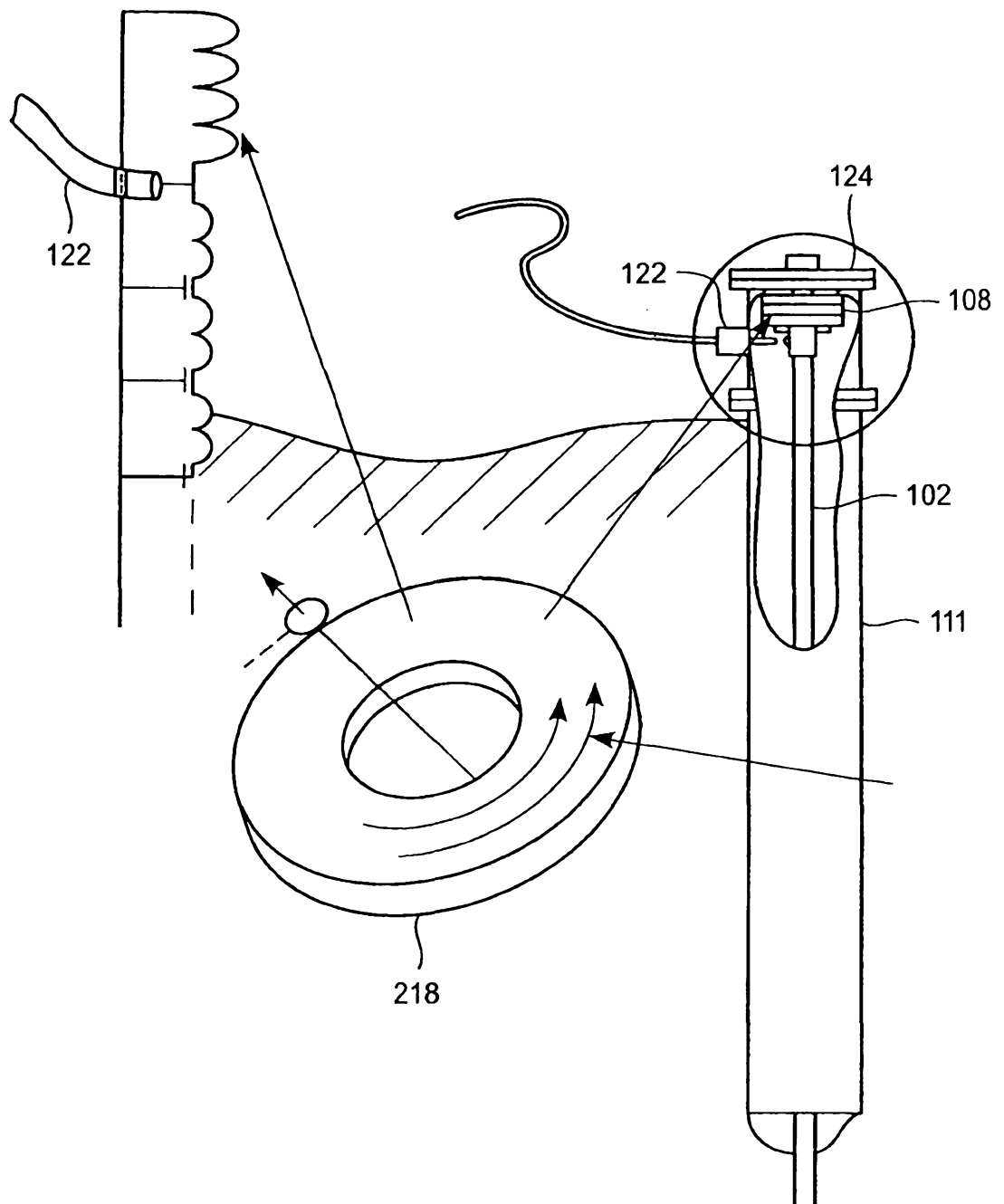


FIG. 2C

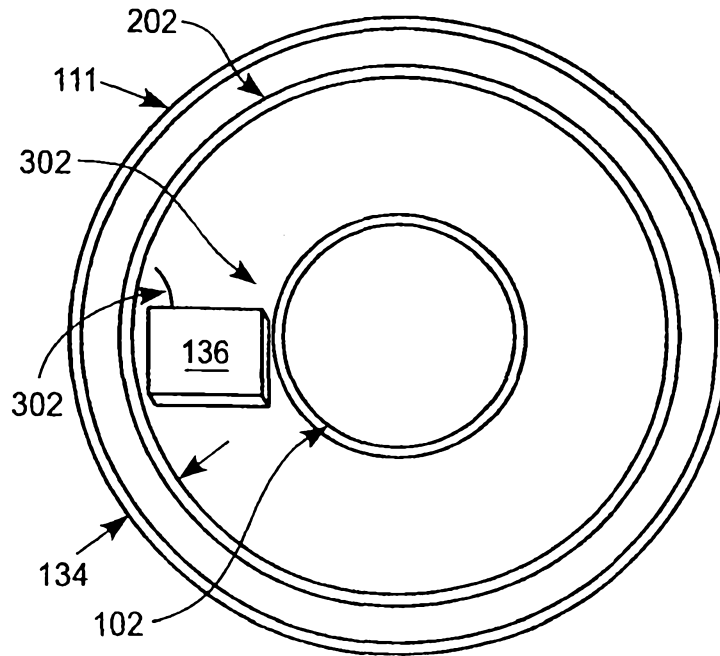


FIG. 3

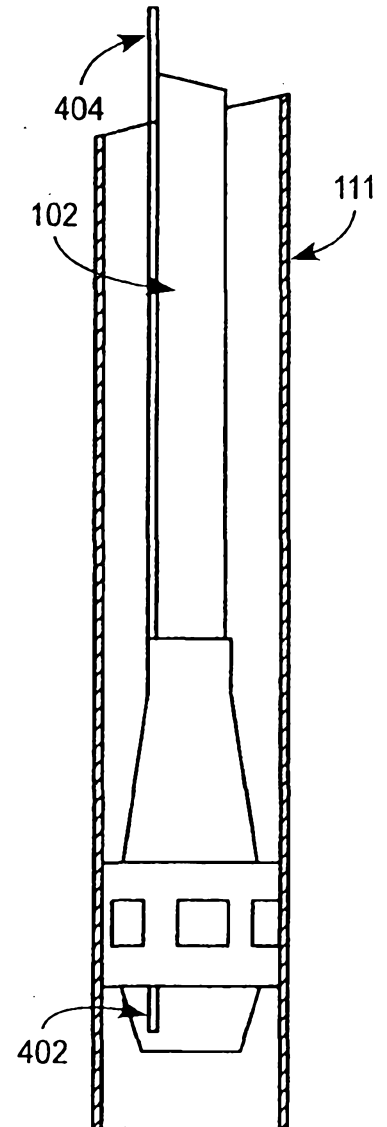


FIG. 4

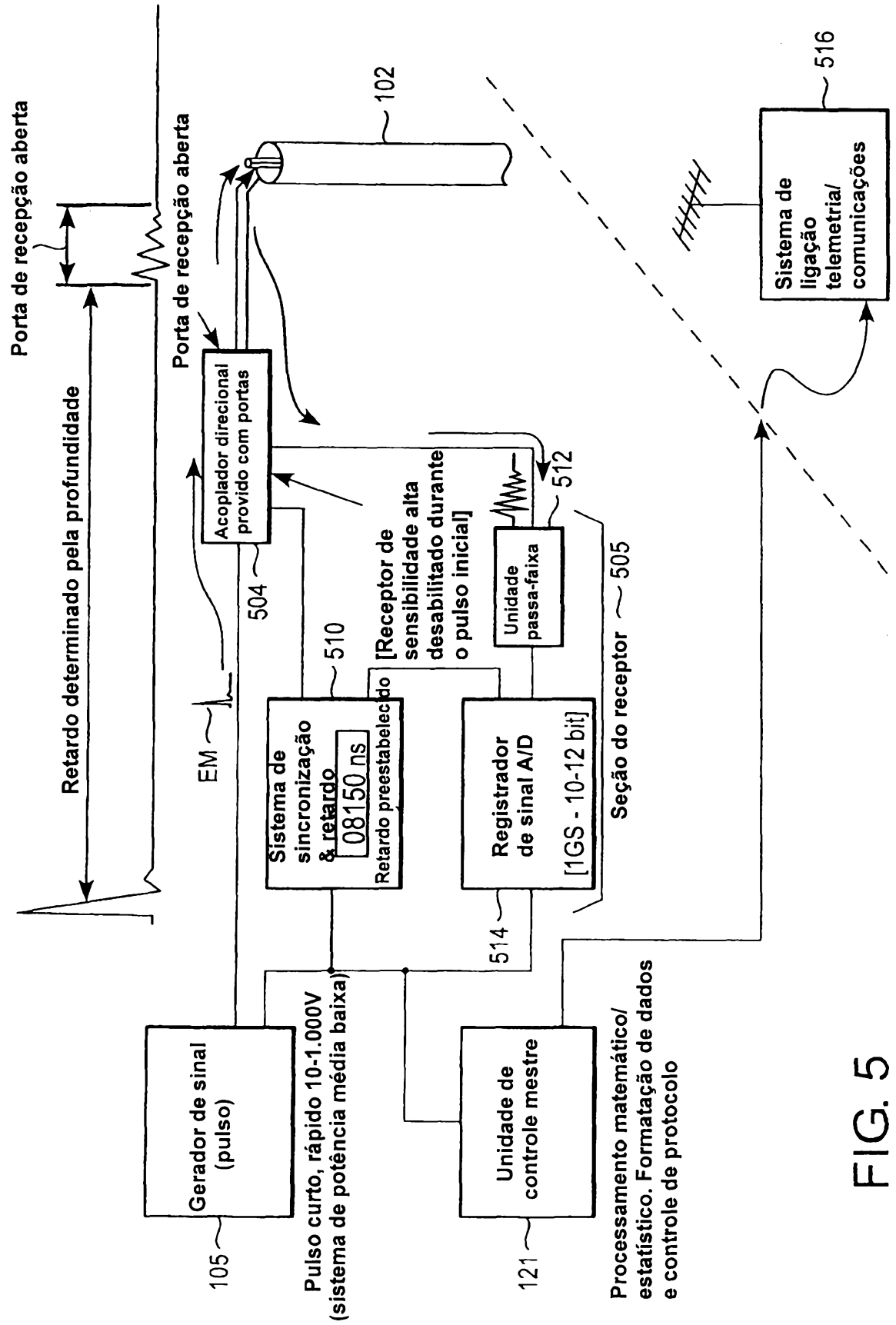


FIG. 5

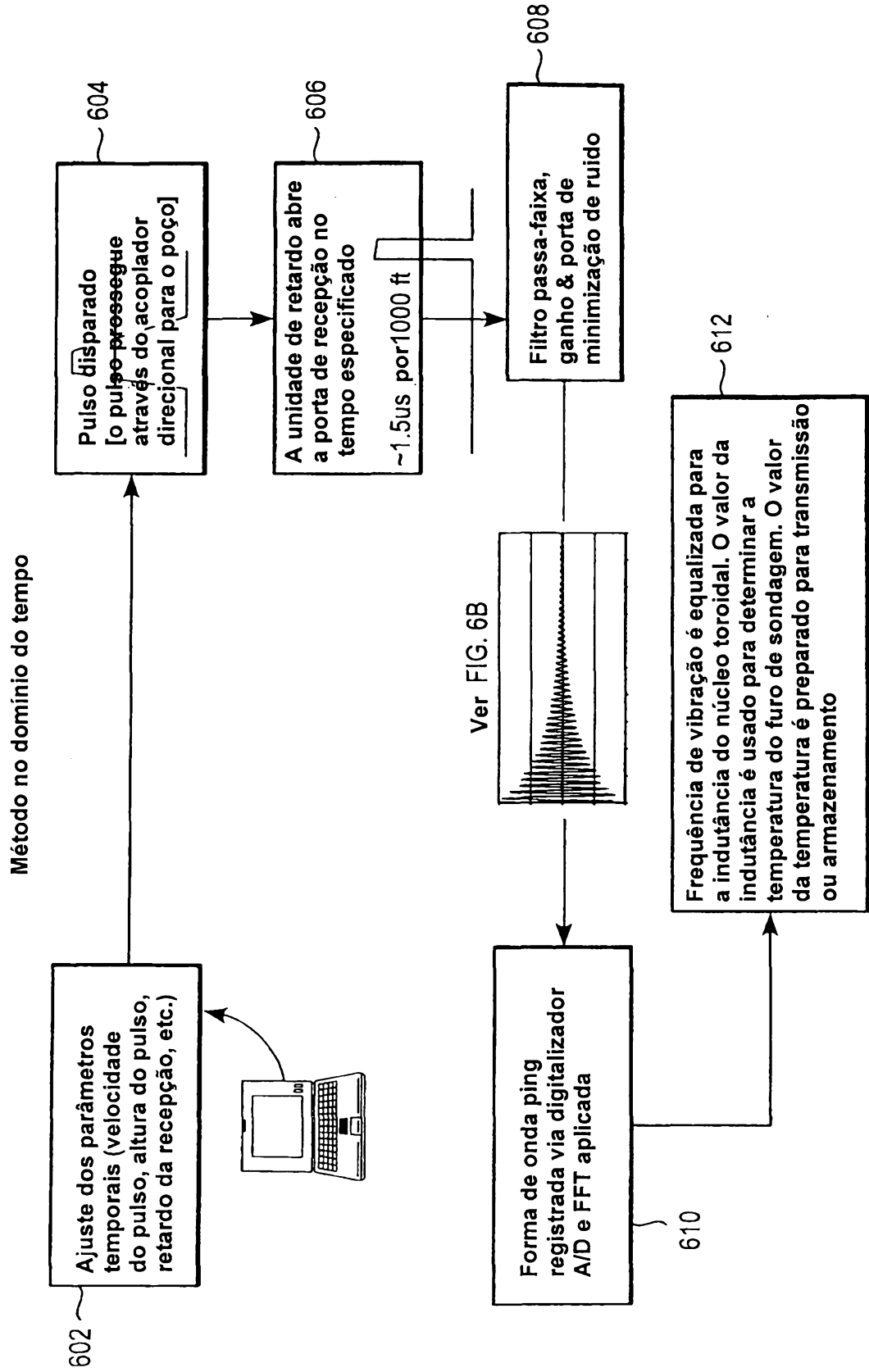


FIG. 6A

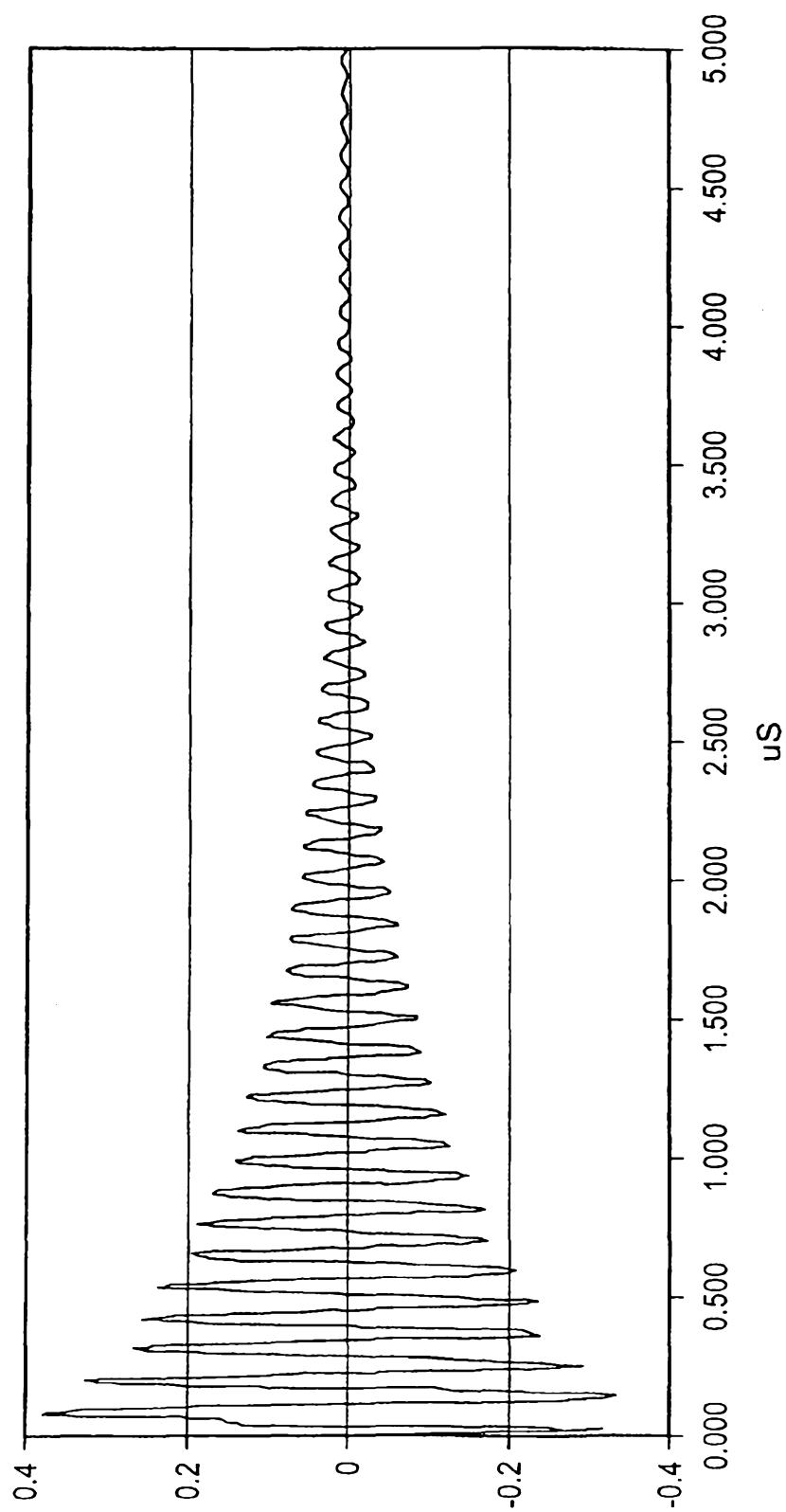
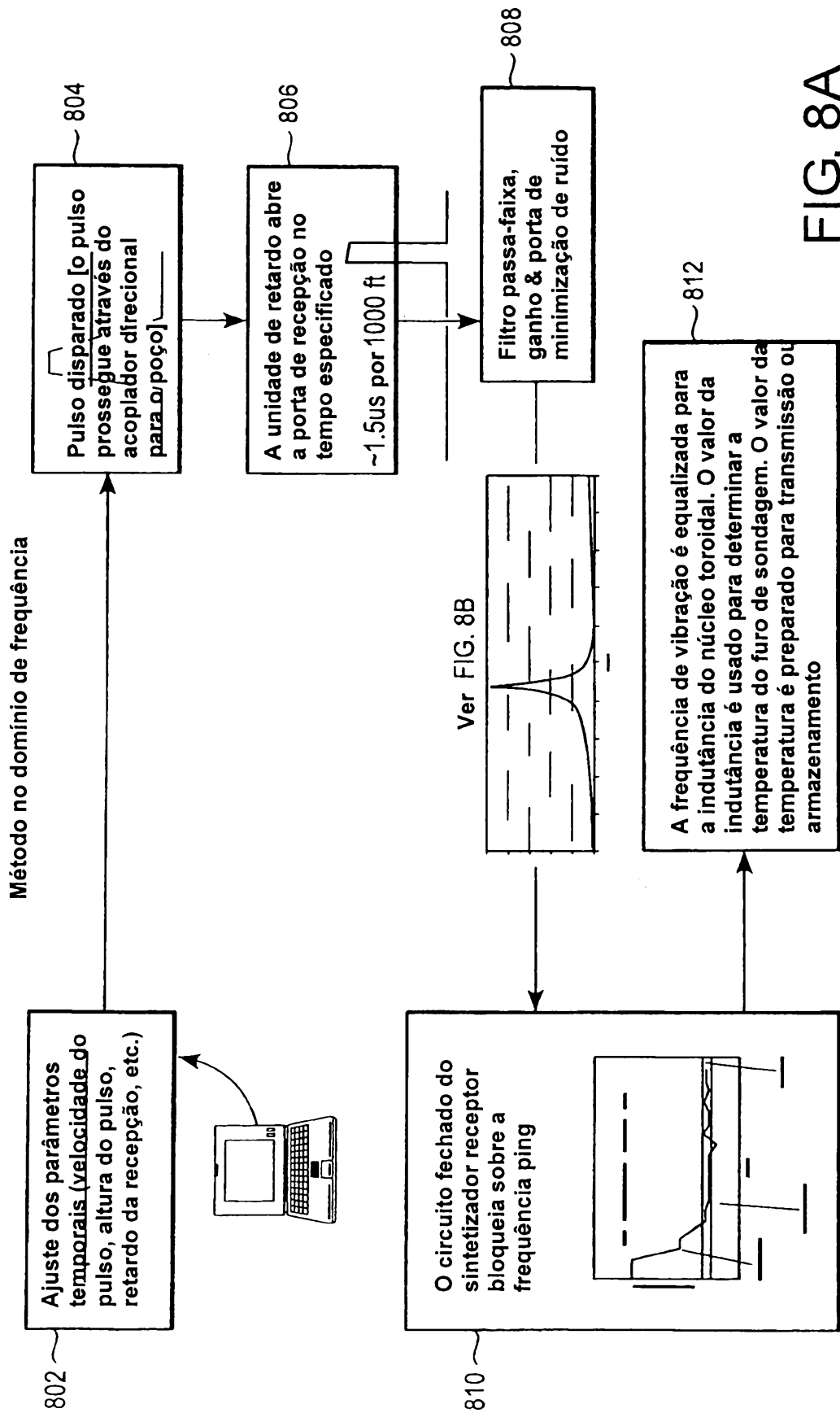


FIG. 6B





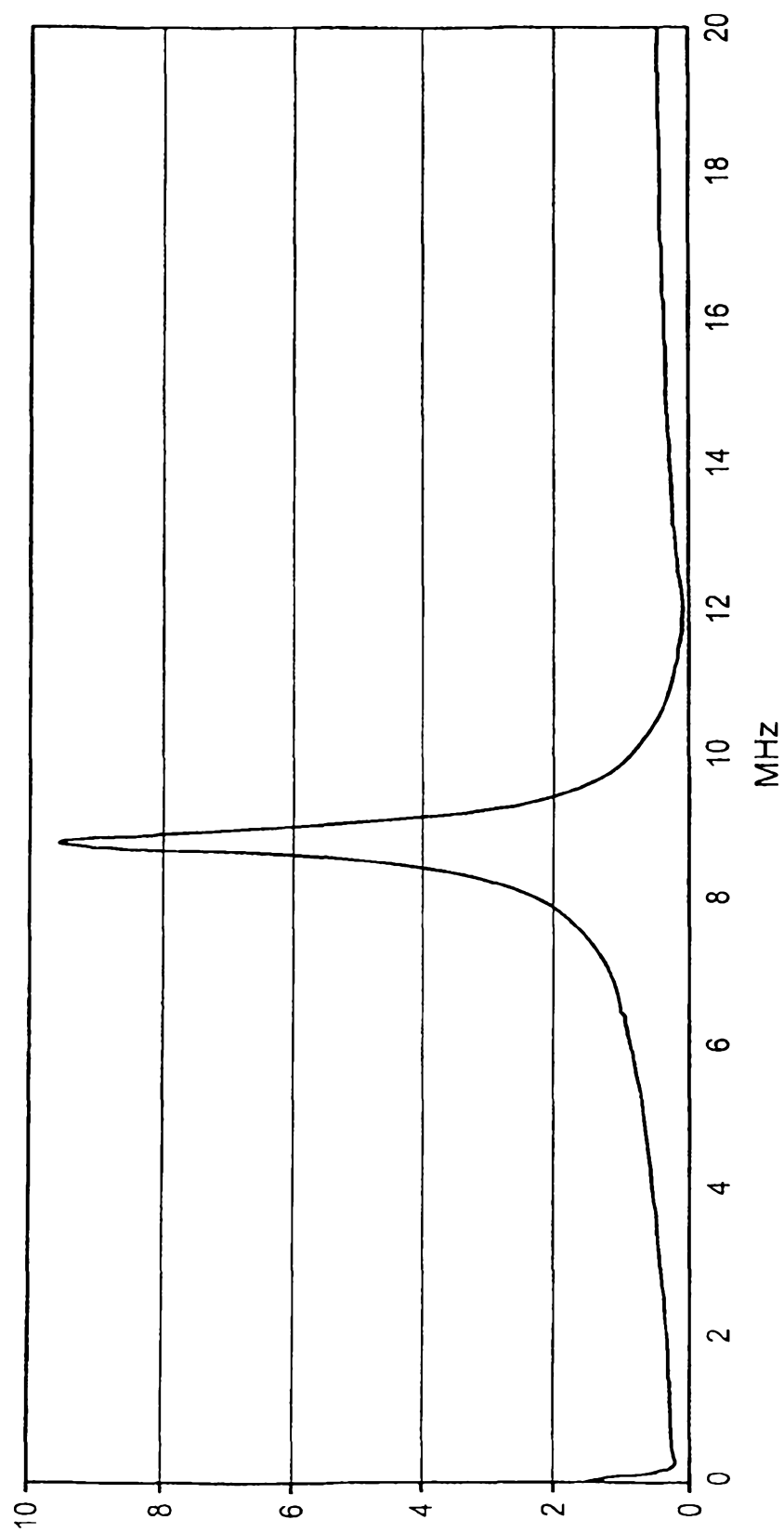


FIG. 8B