



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

**(11) BR 112014030616-8 B1**



**(22) Data do Depósito: 11/06/2013**

**(45) Data de Concessão: 08/03/2022**

---

**(54) Título:** APARELHO E MÉTODO PARA ESTIMAR PROPRIEDADE DE FORMAÇÃO DE SOLO PENETRADA POR UM POÇO

**(51) Int.Cl.:** G01V 3/28.

**(30) Prioridade Unionista:** 13/06/2012 US 13/495,182.

**(73) Titular(es):** BAKER HUGHES INCORPORATED.

**(72) Inventor(es):** STEVEN A. MORRIS.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2013045155 de 11/06/2013

**(87) Publicação PCT:** WO 2013/188384 de 19/12/2013

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 05/12/2014

**(57) Resumo:** APARELHO E MÉTODO PARA ESTIMAR PROPRIEDADE DE FORMAÇÃO DE SOLO PENETRADA POR UM POÇO. A presente invenção refere-se a um aparelho para estimar uma propriedade de uma formação de solo penetrada por um poço que inclui: um transportador (5) do poço; um primeiro ímã comutável (21); um primeiro dispositivo de armazenamento de energia acoplado ao primeiro ímã comutável (21); um segundo ímã comutável (22); um segundo dispositivo de armazenamento de energia acoplado ao segundo ímã comutável (22); pelo menos uma fonte de tensão possuindo uma primeira polaridade e uma segunda polaridade oposta à primeira polaridade; e um circuito elétrico (30) configurado para carregar o primeiro dispositivo de armazenamento de energia e o segundo dispositivo de armazenamento de energia, ao mesmo tempo e para descarregar sequencialmente o primeiro dispositivo de armazenamento de energia e o segundo dispositivo de armazenamento de energia, o circuito elétrico (30) sendo ainda configurado para carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia para a primeira polaridade e depois carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia para a segunda polaridade após os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia estarem descarregados.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para  
**"APARELHO E MÉTODO PARA ESTIMAR PROPRIEDADE DE  
FORMAÇÃO DE SOLO PENETRADA POR UM POÇO"**.

**Referência Cruzada aos Pedidos Relacionados**

[0001] Este pedido reivindica o benefício do Pedido de Patente US No. 13/495.182. depositado em 13 de Junho de 2012, que é aqui incorporada por referência na sua totalidade.

**Antecedentes**

[0002] Formações geológicas podem ser usadas para muitas finalidades, tais como a produção de hidrocarbonetos, a produção geotérmica ou sequestro de dióxido de carbono. Em geral, os poços são perfurados no solo para ganhar acesso às formações para executar as medições relacionadas com a finalidade de formação. As medições realizadas em poços em várias profundidades são geralmente referidas como perfilagem de poço.

[0003] Em uma modalidade da perfilagem de poço referida como perfilagem durante a perfuração ou a medição durante a perfuração, o instrumento ou ferramenta de medição está disposto em um conjunto de fundo de poço (BHA) na extremidade distal de uma coluna de perfuração. Conforme a coluna de perfuração gira para perfurar o poço, a ferramenta de medição realiza as medições. As medições são geralmente registradas com uma profundidade na qual elas foram realizadas. Juntas, as medições e profundidades associadas criam um registro do poço. O registro também pode ser representado graficamente, ou como uma imagem de alterações nas propriedades medidas.

[0004] Um tipo de medição de fundo do poço é de propriedades elétricas da formação do solo. As propriedades elétricas podem prover informações sobre os materiais geológicos que compõem uma formação, tal como o seu teor provável de óleo, gás e água.

[0005] As propriedades elétricas da formação de solo podem ser

medidas por uma técnica de medição do poço por indução. Na medição do poço por indução, um transmissor transmite energia eletromagnética através de uma antena transmissora para uma formação. A alteração dos campos magnéticos associada com a energia induz correntes parasitas na formação. As correntes parasitas, por sua vez emitem energia eletromagnética que é recebida por um receptor através de uma antena receptora. Características da energia eletromagnética recebida são então relacionadas com as propriedades elétricas da formação. Por exemplo, uma formação com maiores propriedades condutoras terá correntes parasitas de magnitude mais alta que geram sinais mais fortes. Infelizmente, com este tipo de perfilagem de poço, a profundidade de medições para a formação pode ser limitada pela gama na qual a energia eletromagnética pode penetrar a rocha de formação. Por isso, seria apreciado na indústria de perfuração se as ferramentas de medição por indução poderiam ser melhoradas para efetuar medições mais profundas e mais precisas nas formações geológicas.

[0006] Os desafios são apresentados ao executar a perfilagem por indução em um aplicativo durante a perfuração porque uma ferramenta de medição por indução que realiza as medições gira com a coluna de perfuração conforme o poço está sendo perfurado. Com cada revolução da coluna de perfuração, a ferramenta de medição por indução é conduzida mais profunda no poço. Se as medições forem realizadas lentamente, em seguida, as medições podem perder partes da formação ou as medições podem não ser capazes de serem correlacionadas com uma direção azimutal do poço. Por isso, seria apreciado pela indústria de perfuração se as ferramentas de medição por indução pudessem ser melhoradas para realizar as medições de forma mais rápida.

### **Breve Sumário**

[0007] E descrito um aparelho para estimar uma propriedade de uma formação de solo penetrada por um orifício de perfuração. O aparelho inclui: um transportador configurado para ser conduzido através do poço; um primeiro ímã comutável disposto no transportador e configurado para alterar um primeiro campo magnético na formação; um primeiro dispositivo de armazenamento de energia acoplado ao primeiro ímã comutável e configurado para descarregar a primeira energia elétrica armazenada para o primeiro ímã comutável; um segundo ímã comutável disposto no transportador e configurado para alterar um segundo campo magnético na formação em uma direção diferente do primeiro campo magnético; um segundo dispositivo de armazenamento de energia acoplado ao segundo ímã comutável e configurado para descarregar a segunda energia elétrica armazenada para o segundo ímã comutável; pelo menos uma fonte de tensão possuindo uma primeira polaridade, e uma segunda polaridade oposta da primeira polaridade; e um circuito elétrico configurado para carregar o primeiro dispositivo de armazenamento de energia e o segundo dispositivo de armazenamento de energia, ao mesmo tempo e para descarregar sequencialmente o primeiro dispositivo de armazenamento de energia para o primeiro ímã comutável e o segundo dispositivo de armazenamento de energia para o segundo ímã comutável. O circuito elétrico está ainda configurado para carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia para a primeira polaridade utilizando pelo menos uma fonte de tensão e, em seguida, carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia para a segunda polaridade utilizando a pelo menos uma fonte de tensão após os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia estarem descarregados. A mudança no primeiro campo magnético gerado pela descarga do primeiro dispositivo de armazenamento de energia e na mudança no segundo campo magnético gerado pela descarga

do segundo dispositivo de armazenamento de energia induz correntes na formação que geram sinais utilizados para estimar a propriedade.

[0008] Também é descrito um método para estimar uma propriedade de uma formação de solo penetrada por um poço. O método inclui: conduzir um transportador através do poço; descarregar a primeira energia elétrica armazenada em um primeiro dispositivo de armazenamento de energia para um primeiro ímã comutável disposto no transportador, a fim de alterar um primeiro campo magnético na formação; descarregar a segunda energia elétrica armazenada em um segundo dispositivo de armazenamento de energia para um segundo ímã comutável disposto no transportador, a fim de alterar um segundo campo magnético na formação em uma direção diferente do primeiro campo magnético; e carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia a partir de pelo menos uma fonte de tensão para uma primeira polaridade e, em seguida, carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia a partir de pelo menos uma fonte de tensão para uma segunda polaridade oposta à primeira polaridade, após os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia estarem descarregados. A alteração no primeiro campo magnético gerada pela descarga do primeiro dispositivo de armazenamento de energia e a alteração no segundo campo magnético gerada pela descarga do segundo dispositivo de armazenamento de energia induz correntes na formação que geram sinais utilizados para estimar a propriedade.

[0009] Além disso, é descrito um meio não transitório legível por computador compreendendo instruções executáveis por computador para estimar uma propriedade de uma formação de solo penetrada por um poço através da implementação de um método. O método inclui: descarregar a primeira da energia elétrica armazenada em um primeiro dispositivo de armazenamento de energia para um primeiro ímã

comutável disposto no transportador, a fim de alterar um primeiro campo magnético na formação; descarregar a segunda energia elétrica armazenada em um segundo dispositivo de armazenamento de energia para um segundo ímã comutável disposto no transportador, a fim de alterar um segundo campo magnético na formação em uma direção diferente do primeiro campo magnético; e carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia a partir de pelo menos uma fonte de tensão com uma primeira polaridade e, em seguida, carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia a partir de pelo menos uma fonte de tensão para uma segunda polaridade oposta à primeira polaridade, após os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia estarem descarregados. A alteração no primeiro campo magnético gerado pela descarga do primeiro dispositivo de armazenamento de energia e a alteração no segundo campo magnético gerado pela descarga do segundo dispositivo de armazenamento de energia induz correntes na formação que geram sinais utilizados para estimar a propriedade.

### **Breve Descrição dos Desenhos**

[0010] As seguintes descrições não devem ser consideradas limitantes em qualquer modo. Com referência aos desenhos anexos, os elementos semelhantes são numerados da mesma forma:

[0011] A figura 1 ilustra uma modalidade exemplar de uma ferramenta de medição por indução disposta em um poço penetrando o solo;

[0012] A figura 2 descreve aspectos da ferramenta de medição por indução;

[0013] A figura 3 descreve aspectos de um circuito elétrico para carregar os condensadores e descarregar os condensadores em bobinas de ímãs comutáveis;

[0014] As figuras 4A, 4B, e 4C, coletivamente referidas como a fi-

gura 4, descrevem aspectos da tensão do condensador e da corrente de bobina magnética quando a tensão inicial do condensador for positiva;

[0015] A figura 5 descreve aspectos de uma linha do tempo para um ciclo de medição da ferramenta de medição por indução; e

[0016] A figura 6 ilustra um fluxograma para um método para estimar uma propriedade de uma formação de solo penetrada por um poço.

### **Descrição Detalhada**

[0017] Uma descrição detalhada de uma ou mais modalidades do método e aparelho descritos aqui apresentados a título de exemplificação e não de limitação com referência às figuras.

[0018] A figura 1 ilustra uma modalidade exemplar de uma ferramenta de medição por indução 10 disposta em um poço 2 penetrando o solo 3, que inclui uma formação de solo 4. A formação de solo 4 representa quaisquer materiais subterrâneos de interesse. A ferramenta de fundo de poço 10 é conduzida através do poço 2 por um transportador 5. Na modalidade da figura 1, o transportador 5 é uma coluna de perfuração 6 em uma modalidade conhecido como perfilagem durante a perfuração (LWD) ou medição durante a perfuração (MWD). Disposta na extremidade distal da coluna de perfuração 6 está uma broca 7. Um anel de perfuração 8 é configurado para realizar operações de perfuração tais como a rotação da coluna de perfuração 6 e, assim, a broca 7 a fim de perfurar o poço 2. Além disso, o anel de perfuração 8 está configurado para bombear fluido de perfuração através da coluna de perfuração 6, a fim de lubrificar a broca 7 e lavar cortes do poço 2. Eletrônicos de fundo de poço 9 são configurados para operar a ferramenta de medição por indução 10, processar os dados de medição recebidos da ferramenta 10, e / ou atuar como uma interface de telemetria para comunicar dados com um sistema de processamento de compu-

tador 11, disposto na superfície do solo 3. A operação da ferramenta e / ou de processamento de dados também pode ser realizada pelo sistema de processamento de computador 11, em complemento ou em vez de eletrônicos de fundo de poço 9. A ferramenta de medição por indução 10 pode operar de forma intermitente, em intervalos específicos, ou de forma contínua durante o processo de perfuração para prover dados de perfilagem para várias profundidades no poço 2 e, assim, na formação 4. Em uma modalidade alternativa, o transportador 5 pode ser uma rede fixa blindada em uma modalidade conhecida como perfilagem de rede fixa.

[0019] A ferramenta de medição por indução 10 é configurada para realizar medições por indução elétrica, a fim de medir uma propriedade elétrica da formação 4 tal como a resistividade ou sua condutividade inversa. Outras propriedades, tais como a composição do material da formação 4 ou fronteiras pode ser determinada indiretamente a partir das medições.

[0020] Referência pode ser feita à figura 2, que descreve aspectos da ferramenta de medição por indução 10. A ferramenta 10 inclui um primeiro ímã comutável 21, um segundo ímã comutável 22, e um terceiro ímã comutável 23. O termo "comutável" se refere à capacidade dos ímãs para eletronicamente inverter a direção de uma polarização magnética do ímã comutável e, assim, inverter a direção do campo magnético gerado externo ao ímã. Os ímãs comutáveis 21, 22, e 23 são configurados para gerar os primeiros, segundo e terceiro campos magnéticos, respectivamente, na formação 4. Na modalidade da figura 2, os ímãs comutáveis 21, 22 e 23 são configurados para gerar um campo magnético em três direções (direções x, y e z) que são ortogonais entre si, embora em outras modalidades as direções podem não ser ortogonais entre si. Os ímãs comutáveis 21, 22 e 23, cada um tem uma bobina 20 de um material eletricamente condutor enrolado em



torno de um núcleo magnético 24 de um material permeável magnético. A polaridade magnética do material magnético permeável (isto é, ímã) pode ser rapidamente revertida por um pulso ou pulsos de corrente elétrica que fluem na bobina 20 para criar um dipolo magnético reversível. Em uma ou mais modalidades, o dipolo magnético pode ser continuamente revertido alternando a polaridade dos pulsos de corrente elétrica consecutivos que fluem através da bobina 20. As antenas receptoras 25, 26 e 27 recebem os sinais da formação 4, resultante da alternância ou alteração dos campos magnéticos devido à reversão do dipolo magnético dos ímãs comutáveis. Na modalidade da figura 2, as bobinas do receptor são configuradas para receber os sinais em três direções ortogonais, embora em outras modalidades, estas direções podem não ser ortogonais entre si. Quando as direções dos ímãs comutáveis ou antenas receptoras não são ortogonais, componentes do vetor podem ser usados para correlacionar os dados obtidos para as três direções ortogonais.

[0021] Para maior clareza, o funcionamento de um ímã comutável é agora descrito. O núcleo magnético 24 é assumido como sendo já magnetizado em uma determinada direção criando um dipolo magnético, que gera um campo magnético na formação 4. Um primeiro pulso de corrente elétrica de uma polaridade selecionada na bobina 20 faz com que o correspondente núcleo magnético 24 seja magnetizado em uma direção oposta causando uma inversão do dipolo magnético. A inversão do dipolo magnético resulta na alteração do campo magnético na formação 4. A alteração do campo magnético, por sua vez gera de forma difusível a propagação de correntes, tais como correntes parasitas na formação do solo 4. Note-se que o tempo de transição da inversão do dipolo (ou seja, o tempo que leva para o ímã comutável inverter a polaridade) é muito menor do que o tempo necessário para que as correntes parasitas induzidas na formação propaguem através

do volume de interesse da formação de solo. Em geral, o tempo de comutação é inferior a cinco microssegundos em uma ou mais modalidades. As correntes parasitas geram energia eletromagnética ou sinais que são recebidos por uma antena do receptor. Uma ou mais características dos sinais recebidos são então correlacionadas com uma propriedade elétrica de interesse da formação 4. Durante o funcionamento da ferramenta 10, a alteração contínua da polaridade magnética ou a inversão do dipolo magnético no núcleo magnético 24 provê a alteração de forma contínua dos campos magnéticos na formação 4 para sondagem contínua da formação 4, enquanto o poço 2 está sendo perfurado. A ferramenta de medição por indução 10 pode ser calibrada por meio de análise ou em formações ou modelos de formação possuindo propriedades elétricas conhecidas.

[0022] A fim de prover para a inversão contínua e rápida dos dipolos magnéticos gerados pelos ímãs comutáveis 21, 22 e 23, cada um dos ímãs comutáveis é acoplado a um condensador de armazenamento de energia separado. Cada condensador é carregado a uma polaridade ao mesmo tempo e, em seguida, os condensadores são descarregados sequencialmente para a bobina correspondente para gerar pulsos de corrente para alterar sequencialmente ou inverter os campos magnéticos (associados com os correspondentes ímãs comutáveis) em várias partes da formação 4. Uma vez que todos os condensadores são descarregados, então eles são carregados para a polaridade oposta. Depois que os condensadores são cobrados para a polaridade oposta, eles são novamente sequencialmente descarregados para gerar sequencialmente campos magnéticos alterados nas diversas partes da formação 4.

[0023] A figura 3 ilustra os aspectos de uma modalidade de um circuito elétrico 30 para operar a ferramenta de medição por indução 10, que inclui o carregamento e descarregamento dos condensadores se-

parados. O circuito elétrico 30 ou as partes do mesmo, podem ser incorporados nos eletrônicos de fundo de poço 9 ou no sistema de processamento de superfície 11. O circuito elétrico 30 ilustra três bobinas magnéticas comutáveis -  $L_x$  (na direção  $x$ ),  $L_y$  (na direção  $y$ ) e  $L_z$  (na direção  $z$ ) para os ímãs comutáveis 21, 22 e 23, respectivamente. As alternâncias das inversões do dipolo magnético para cada núcleo magnético correspondente 24 são produzidas através do envio de pulsos de corrente alternada positivos e negativos através das bobinas magnéticas correspondentes  $L_x$ ,  $L_y$  e  $L_z$ . Cada bobina magnética  $L_x$ ,  $L_y$  e  $L_z$  é acoplada a um correspondente condensador de armazenamento de energia  $C_x$ ,  $C_y$  e  $C_z$ , respectivamente. Duas fontes de tensão de carregamento  $V +$  e  $V -$  são usadas para carregar os condensadores, mas não ao mesmo tempo. Isto é, a fonte de tensão  $V +$  é utilizada para carregar os condensadores de tensão  $V +$ , após o que os condensadores são descarregados sequencialmente. Então, seguinte às descargas dos condensadores, os condensadores são carregados para tensão  $V -$  usando a fonte de tensão  $V -$  após o qual os condensadores são descarregados sequencialmente. Assim, através do carregamento dos condensadores para  $V +$ , seguindo, sequencialmente do descarregamento dos condensadores para as bobinas correspondentes  $L_x$ ,  $L_y$  e  $L_z$ , depois carregar os condensadores para  $V -$ , e depois sequencialmente descarregar para essas bobinas, as inversões contínuas do dipolo magnético podem ser implementadas nos ímãs comutáveis 21, 22 e 23. Para cada inversão do dipolo magnético, o campo magnético resultante que se estende para a formação também é invertido ou aproximadamente invertido e os sinais resultantes induzidos são recebidos e registrados.

[0024] Ainda com referência à figura 3, todos os comutadores ( $SC +$ ,  $SC -$ ,  $Sx1$ ,  $Sx2$ ,  $Sy1$ ,  $Sy2$ ,  $SzL$ ,  $Sz2$ ,  $ST +$ , e  $ST -$ ) ilustrados no circuito 30 são comutadores eletrônicos de ação rápida controlados por um

controlador 31, os quais podem incluir um processador. Em uma modalidade, um ciclo de operação completo do circuito 30 prossegue na seguinte sequência de etapas. Etapa 1 – o condensador positivo de carga. Etapa 2 - um conjunto de três (x, y, e z) inversões positivas do dipolo magnético (ou seja, do dipolo magnético negativo para dipolo magnético positivo no núcleo magnético de cada ímã). Etapa 3 - carregar o condensador negativo. E, etapa 4 - um conjunto de três (x, y, z) inversões de dipolo negativo (isto é, do dipolo magnético positivo para dipolo magnético negativo no núcleo magnético de cada ímã). Para fins de discussão, é assumido, no início do ciclo de operação em que todos os comutadores da 3 estão abertos, embora nem todos possam ter de ser abertos. Na etapa 1 acima para o carregamento positivo dos condensadores Cx, Cy e Cz, o comutador SC + e os comutadores Sx1, Sy1 e SzL estão fechados, carregando os condensadores Cx, Cy e Cz para tensão positiva V +. Após o carregamento, todos os comutadores são abertos novamente. Na etapa 2 acima para pulsos positivos das bobinas Lx, Ly e Lz, o comutador Sx2 está fechado para ligar o condensador Cx à bobina do ímã comutável Lx. Em seguida, o comutador ST + está fechado para descarregar Cx através de Lx, produzindo uma inversão de dipolo positivo na direção-x. Sx2 e ST + são então abertos. Em seguida, Sy2 é fechado e ST + fecha para descarregar Cy através de Ly, produzindo uma inversão do dipolo positivo na direção y. Sy2 e ST + são então abertos. Em seguida, Sz2 é fechado e ST + fecha para descarregar Cz através de Lz, produzindo uma inversão de dipolo positivo na direção z. Sz2 e ST + são, então, abertos completando as inversões de dipolo positivo. Na etapa 3 acima, para um carregamento negativo de condensadores Cx, Cy e Cz, o comutador SC- e os comutadores Sx1, Sy1 e Sz1 estão fechados carregando os condensadores Cx, Cy e Cz para tensão negativa V-. Após o carregamento, todos os comutadores são abertos novamente. Na etapa 4

acima para pulso negativo das bobinas Lx, Ly e Lz, o comutador Sx2 é fechado para ligar o condensador Cx à bobina do ímã comutável Lx. Em seguida, o comutador ST é fechado para descarregar Cx através de Lx, produzindo uma inversão de dipolo negativo na direção-x. Sx2 e ST- são abertos. Em seguida, o comutador Sy2 é fechado e ST - fecha para descarregar Cy através de Ly, produzindo uma inversão de dipolo negativo na direção y. Sy2 e ST- são então abertos. Em seguida, Sz2 é fechado e ST - fecha Cz para descarregar através de Lz, produzindo uma inversão de dipolo negativo na direção z. Os comutadores Sz2 e ST- são, então, abertos completando as inversões de dipolo negativo. Após a etapa 4, o ciclo de operação repete-se começando novamente na etapa 1. Desta forma, as inversões de dipolo magnético alternada de forma contínua são implementadas nos núcleos magnéticos de Lx, Ly e Lz para sondar a formação 4.

[0025] Um cálculo ilustrativo é agora apresentado para mostrar um exemplo de cálculo de um tempo de carregamento para os três condensadores. A figura 4 ilustra a tensão do condensador, a corrente da bobina do ímã comutável, e a corrente de carga do condensador quando a tensão do condensador inicial é positiva, como mostrado na figura 4 A. Para fins de discussão, assume-se que durante a comutação, 50 % da energia no condensador é consumida na comutação do ímã comutável e em perdas nos comutadores. Durante a mudança, a descarga do condensador e a bobina do ímã comutável formam um circuito ressonante em série. Quando o comutador ST + está fechado, um pulso de corrente positiva de, aproximadamente, uma onda sinusoidal, cuja frequência é a frequência do circuito ressonante em série, flui através da bobina. Este pulso de corrente é limitado a um único meio ciclo pela ação do diodo em série com o comutador ST + ( figura 3), o que impede a inversão de corrente na bobina e, assim, para a corrente na bobina após a conclusão de um meio ciclo da onda sinu-

soidal, como mostrado na figura 4B. Após a comutação, a tensão no condensador será negativa, e a sua magnitude da tensão será determinada pela energia final no condensador,  $E_f$ , que é igual à energia inicial no condensador,  $E_0$ , menos a soma da energia consumida comutando o ímã mais as perdas de energia nos comutadores. No cálculo, presume-se que para cada um dos ímãs comutáveis 21, 22 e 23,  $E_f / E_0 = 0,5$ . Suponha que  $C_x = C_y = C_z = 5,6 \mu\text{f}$ , assim,  $C_x + C_y + C_z = 16,8 \mu\text{f}$ . Suponha que  $V_0 = 1700 \text{ v}$ ; assim,  $V_f = V_0 \sqrt{(E_f / E_0)} = (1700) * \sqrt{(0,5)} = 1202 \text{ v}$ . Após a comutação, os três condensadores (mostrados na figura 3) são carregados em paralelo utilizando uma corrente de carregamento de magnitude constante  $I_c$ , como mostrado na figura 4C. O tempo para carregar é  $\Delta V C / I_c$ , onde  $\Delta V = V_0 - V_f$ . Supondo que  $I_c = 0,25 \text{ ampères}$ , o tempo de carregamento  $\Delta t = \Delta V * C / I_c = [(1700 \text{ v} - 1202 \text{ v}) * 16,8 \mu\text{f}] / 0,25 \text{ amp} = 33,5 \text{ ms}$ . A potência média desenhada para operação contínua versus taxa de pulso ( $f_p$ ) agora é calculada. A energia por pulso único de uma bobina do ímã comutável =  $(1 - E_f / E_0) * [C_x * V_0^2 / 2] = 4,05 \text{ j}$ . A Tabela 1 prove a energia desenhada para várias taxas de pulso ( $f_p$ ) de operação da ferramenta.

TABELA 1

Taxa de pulso ( $f_p$ ) (por segundo)	Energia desenhada (watts)
5	20
10	40
15	60
20	80
25	100
30	120

[0026] A figura 5 ilustra uma modalidade exemplar de um cronograma para um ciclo de medição (isto é, para uma inversão de dipolo magnético em cada ímã comutável). Em uma ou mais modalidades, o tempo de aquisição para receber sinais de formação resultantes da

descarga de um condensador de uma bobina de ímã comutável é de 5 milissegundos (ms) e o tempo de aquisição total para três inversões de dipolo é de 15 ms. Assim, o tempo entre as descargas dos condensadores para o mesmo tipo de inversão de dipolo magnético é de 5 ms e o tempo total do ciclo de medição é de 43,5 ms (15 ms para a aquisição mais 33,5 ms do tempo de carregamento, menos 5 ms sobreposto no tempo de aquisição e de carregamento). Assim, a taxa de pulso ( $f_p$ ) para esta modalidade é igual a  $1 / (10 \text{ ms} + 33,5 \text{ ms}) = 23 \text{ Hz}$ . Com uma taxa de pulso de 23 Hz, o consumo de energia é de 92 w. A tabela 2 apresenta o curso angular para esta modalidade para o tempo de aquisição total e o ciclo de medição total para várias velocidades de rotação da broca. A viagem angular  $\Delta\theta$  é calculada como  $\Delta\theta = 360^\circ (\text{RPM} / 60) \Delta t$  é de  $0,09^\circ\text{-RPM}$  por 15 ms e  $0,261^\circ\text{-RPM}$  para 43,5 ms.

TABELA 2

Velocidade da broca (rpm)	Aquisição de $\Delta\theta$ ( $^\circ$ )	Ciclo de medição de $\Delta\theta$ ( $^\circ$ )
50	4,5	13,05
100	9	26,1
200	18	52,2
400	36	104,4

[0027] Pode ser apreciado que os condensadores de armazenamento de energia discutidos acima podem representar outros tipos de dispositivos de armazenamento de energia, que podem armazenar a energia e descarregar a energia como corrente elétrica para as bobinas dos ímãs comutáveis. Assim, o termo "dispositivo de armazenamento de energia" refere-se a abranger todos os tipos de dispositivos de armazenamento de energia (incluindo os condensadores) que podem armazenar a energia e descarregar a energia armazenada como corrente elétrica para as bobinas dos ímãs comutáveis.

[0028] A figura 6 ilustra um fluxograma para um método 60 para

estimar uma propriedade elétrica de uma formação de solo penetrada por um poço. O bloco 61 chama para condução de um transportador através do poço. O bloco 62 chama para a descarga da primeira energia elétrica armazenada em um primeiro dispositivo de armazenamento de energia, tal como um primeiro condensador, para um primeiro ímã comutável disposto no transportador, a fim de alterar um primeiro campo magnético na formação. A mudança no primeiro campo magnético é causada por uma nova geração de campo magnético que, geralmente, tem uma polaridade oposta à do campo magnético anterior no local de interesse. O bloco 63 chama para descarregar a segunda energia elétrica armazenada em um segundo dispositivo de armazenamento de energia, tal como um segundo condensador, para um segundo ímã comutável disposto no transportador, a fim de gerar um segundo campo magnético na formação em uma direção diferente do primeiro campo magnético. A alteração no segundo campo magnético é causada pela geração de um novo campo magnético que, geralmente, tem uma polaridade oposta à do campo magnético anterior no local de interesse. O bloco 64 chama para o carregamento dos primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia a partir de pelo menos uma fonte de tensão com uma primeira polaridade e, em seguida, o carregamento dos primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia a partir de pelo menos uma fonte de tensão para uma segunda polaridade oposta à primeira polaridade após os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia estarem descarregados. No que diz respeito aos blocos acima, a alteração no primeiro campo magnético gerado pela descarga do primeiro dispositivo de armazenamento de energia e a alteração no segundo campo magnético gerado pela descarga do segundo dispositivo de armazenamento de energia induz correntes na formação que geram sinais utilizados para estimar a propriedade.



[0029] Os ensinamentos aqui descritos proveem diversas vantagens. Uma vantagem é a sondagem profunda de até 100 metros ou mais na formação 4 usando as inversões de dipolos magnéticos para induzir correntes de formação. Os condensadores podem fornecer energia suficiente para as bobinas de ímãs comutáveis para gerar campos magnéticos variáveis a estas distâncias. Assim, em uma ou mais modalidades, uma propriedade elétrica de formação 4 pode ser determinada até 100 metros ou mais à frente da broca 7, enquanto o poço 2 está sendo perfurado.

[0030] Outra vantagem diz respeito ao fornecimento de medições durante a perfuração mais rapidamente do que as ferramentas convencionais. A fim de medir a resistividade adequadamente em uma ou mais modalidades, é necessário gerar inversões de dipolo magnético em três direções ortogonais, x, y e z, para cada medição em um ciclo de medição. É importante que estas medições sejam o mais próximo possível uma da outra na sua direção angular em relação ao eixo do poço, de modo que as medições x e y (definindo um plano perpendicular ao eixo do poço) estejam corretamente posicionadas. Se houver um longo atraso entre as medições x e y, a rotação da ferramenta fará com que as medições x e y estejam desalinhadas, produzindo resultados errados ou menos precisos. Este desalinhamento pode resultar do movimento de rotação da ferramenta a partir do momento de inversão do dipolo magnético para o fim do intervalo de tempo de aquisição de sinal associado. Porque as medições x e y estão no mesmo plano, quanto menor o movimento rotacional da ferramenta menos possível é desejado entre o tempo da inversão do dipolo magnético e o fim do intervalo de tempo de aquisição de sinal associado, a fim de distinguir entre as duras direções de medição e obtém medições mais precisas. Se a ferramenta usou apenas um único condensador para armazenar a energia para todos os condensadores, então este mesmo condensa-

dor teria de ser carregado após cada descarga para cada um dos condensadores fazendo com que a ferramenta gire de modo demasiado durante o carregamento para as medições x e y a serem corretamente alinhadas. O uso de três condensadores para os três ímãs comutáveis (direções x, y e z) permite que as três inversões de dipolo magnético sejam estreitamente espaçadas no tempo, reduzindo os erros introduzidos por rotação da ferramenta nas medições x e y. Em uma ou mais modalidades da operação, as medições são executadas em sucessão rápida, em conjuntos de três (x, y e z), enquanto que o carregamento dos condensadores é feito durante os intervalos relativamente longos entre as séries de medição, como mostrado na figura 5.

[0031] Em apoio dos ensinamentos aqui apresentados, vários componentes de análise podem ser utilizados, incluindo um sistema digital e / ou um analógico. Por exemplo, os eletrônicos de fundo de poço 9, o processamento do computador de superfície 11, o circuito elétrico 30, o controlador 31, ou fontes de tensão V + e V- podem incluir o sistema digital e / ou analógico. O sistema pode ter componentes, como um processador, meios de armazenamento, memória, entrada, saída, link de comunicação (com fio, sem fio, lama pulsada, ótico ou outro), interfaces de usuário, programas de software, processadores de sinais (digitais ou analógicos) e outros tais componentes (tais como resistores, condensadores, indutores e outros) para fornecer para a operação e análise do aparelho e dos métodos aqui descritos em qualquer uma das várias maneiras bem apreciadas na técnica. Considera-se que esses ensinamentos podem ser, mas não precisam ser, implementados em conjunto com um conjunto de instruções executáveis por computador armazenadas em um meio não transitório legível por computador, incluindo a memória (ROMs, RAMs), óticos (CD-ROM), ou magnéticos (disquetes, discos rígidos), ou qualquer outro tipo que, quando executado faz com que um computador implemente o

método da presente invenção. Essas instruções podem prover o funcionamento do equipamento, o controle, a coleta e análise de dados e outras funções consideradas relevantes por um projetista do sistema, proprietário, usuário ou outras pessoas, além das funções descritas nesta invenção.

[0032] Além disso, vários outros componentes podem ser incluídos e chamados para o provimento de aspectos dos ensinamentos aqui. Por exemplo, uma fonte de alimentação (por exemplo, pelo menos um de um gerador, uma fonte remota e uma bateria), componente de arrefecimento, componentes de aquecimento, ímã, eletroímã, sensor, eletrodo, transmissor, receptor, transceptor, antena, controlador, unidade ótica, unidade elétrica ou unidade eletromecânica podem ser incluídos em apoio dos vários aspectos aqui discutidos ou em apoio de outras funções além desta invenção.

[0033] O termo "transportador" como aqui utilizado significa qualquer dispositivo, componente do dispositivo, combinação de dispositivos, mídia e / ou elemento que podem ser usados para conduzir, alojar, suportar ou de outra forma facilitar o uso de outro dispositivo, componente do dispositivo, combinação de dispositivos, mídia e / ou elemento. Outros veículos não limitativos exemplares incluem colunas de perfuração do tipo tubo em espiral, do tipo de tubo articulado e qualquer combinação ou uma parte do mesmo. Outros exemplos de veículos incluem tubos de alojamento, rede fixa, sondas de rede fixa, sondas corda lisa, tiros de queda, conjuntos de fundo de poço, inserções da coluna de perfuração, módulos, caixas internas e partes de substrato dos mesmos.

[0034] Os elementos das modalidades foram introduzidos, quer com os artigos "um" ou "uns". Os artigos destinam-se a significar que existe um ou mais dos elementos. Os termos "incluindo" e "possuindo" destinam-se a ser inclusivos de tal modo que pode haver outros ele-

mentos além dos elementos listados. A conjunção "ou" quando usada com uma lista ou sequência de pelo menos dois termos, pretende significar qualquer termo ou a combinação dos termos. Os termos "primeiro", "segundo" e "terceiro" são usados para distinguir os elementos e não são utilizados para denotar uma ordem particular. O termo "acoplar" refere-se a acoplar um primeiro componente a um segundo componente, quer direta ou indiretamente através de um componente intermediário.

[0035] Será reconhecido que os vários componentes ou tecnologias podem fornecer certas funcionalidades ou características necessárias ou benéficas. Por conseguinte, estas funções e características como podem ser necessárias em apoio às reivindicações anexas e suas variações, são reconhecidas como sendo inerentemente incluídas como uma parte dos preceitos aqui explicitados e uma parte da invenção descrita.

[0036] Embora a invenção tenha sido descrita com referência às modalidades exemplares, deverá ser entendido que várias alterações podem ser feitas e equivalentes podem ser substituídos por elementos destes sem se afastarem do âmbito da invenção. Além disso, muitas modificações serão apreciadas para adaptar um instrumento em particular, situação ou material aos ensinamentos da invenção sem afastamento do âmbito essencial da mesma.

[0037] Portanto, pretende-se que a invenção não seja limitada à modalidade particular descrita como o melhor modo contemplado para realizar esta invenção, mas que a invenção inclua todas as modalidades que caem dentro do âmbito das reivindicações anexas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para estimar uma propriedade de uma formação de solo penetrada por um poço, o aparelho **caracterizado** pelo fato de que compreende:

um transportador (5) configurado para ser conduzido através do poço;

um primeiro ímã comutável (21) disposto no transportador (5) e configurado para alterar um primeiro campo magnético na formação;

um primeiro dispositivo de armazenamento de energia acoplado ao primeiro ímã comutável (21) e configurado para descarregar a primeira energia elétrica armazenada para o primeiro ímã comutável (21);

um segundo ímã comutável (22) disposto no transportador (5) e configurado para alterar um segundo campo magnético na formação em uma direção diferente do primeiro campo magnético;

um segundo dispositivo de armazenamento de energia acoplado ao segundo ímã comutável (22) e configurado para descarregar a segunda energia elétrica armazenada para o segundo ímã comutável (22);

pelo menos uma fonte de tensão possuindo uma primeira polaridade e uma segunda polaridade oposta à primeira polaridade; e

um circuito elétrico (30) configurado para carregar o primeiro dispositivo de armazenamento de energia e o segundo dispositivo de armazenamento de energia, ao mesmo tempo e para descarregar sequencialmente o primeiro dispositivo de armazenamento de energia para o primeiro ímã comutável (21) e o segundo dispositivo de armazenamento de energia para o segundo ímã comutável (22), o circuito elétrico (30) sendo ainda configurado para carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia para a primeira po-

laridade utilizando pelo menos uma fonte de tensão e, em seguida, carregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia para a segunda polaridade utilizando pelo menos uma fonte de tensão depois de o primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia serem descarregados;

em que a alteração no primeiro campo magnético gerado pela descarga do primeiro dispositivo de armazenamento de energia e a alteração no segundo campo magnético gerado pela descarga do segundo dispositivo de armazenamento de energia induz correntes na formação que gera sinais utilizados para estimar a propriedade.

2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro ímã comutável (21) compreende uma primeira bobina enrolada em torno de um primeiro núcleo magnético compreendendo um primeiro material permeável magnético e o segundo ímã comutável (22) compreende uma segunda bobina enrolada em torno de um segundo núcleo magnético compreendendo um segundo material permeável magnético, em que a descarga do primeiro dispositivo de armazenamento de energia gera um primeiro dipolo magnético no primeiro material permeável magnético e a descarga do segundo dispositivo de armazenamento de energia gera um segundo dipolo magnético no segundo material permeável magnético.

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que a descarga do primeiro dispositivo de armazenamento de energia provoca uma inversão de dipolo magnético do primeiro dipolo magnético e a descarga do segundo dispositivo de armazenamento de energia provoca uma inversão de dipolo magnético do segundo dipolo magnético.

4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o circuito elétrico (30) inclui uma pluralidade de comutadores eletrônicos e o aparelho compreende ainda um proces-

sador configurado para operar os comutadores eletrônicos para carregar e descarregar os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia.

5. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que compreende ainda um terceiro dispositivo de armazenamento de energia acoplado a um terceiro ímã comutável (23) configurado para receber a terceira energia elétrica descarregada armazenada no terceiro dispositivo de armazenamento de energia e para gerar um terceiro campo eletromagnético na formação em uma direção diferente do segundo campo magnético, em que o circuito elétrico (30) é ainda configurado para carregar o terceiro dispositivo de armazenamento de energia a partir de pelo menos uma fonte de tensão, ao mesmo tempo em que os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia estão para ser carregados e a descarregados sequencialmente o terceiro dispositivo de armazenamento de energia após o segundo dispositivo de armazenamento de energia é descarregado.

6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que a propriedade é a resistividade ou a condutividade.

7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que pelo menos uma fonte de tensão compreende uma primeira fonte de tensão possuindo a primeira polaridade e uma segunda fonte de tensão possuindo a segunda polaridade.

8. Método para estimar uma propriedade de uma formação de solo penetrada por um poço, o método **caracterizado** pelo fato de que compreende:

conduzir um transportador (5) através do poço;

descarregar a primeira energia elétrica armazenada em um primeiro dispositivo de armazenamento de energia para um primeiro ímã comutável (21) disposto no transportador (5), a fim de alterar um

primeiro campo magnético na formação;

descarregar a segunda energia elétrica armazenada em um segundo dispositivo de armazenamento de energia para um ímã comutável disposto no segundo veículo, a fim de alterar um segundo campo magnético na formação em uma direção diferente do primeiro campo magnético; e

carregar o primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia a partir de pelo menos uma fonte de tensão para uma primeira polaridade e, em seguida, carregar o primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia a partir de pelo menos uma fonte de tensão a uma segunda polaridade oposta à primeira polaridade, após os primeiro e segundo dispositivos de armazenamento de energia estarem descarregados;

em que a alteração no primeiro campo magnético gerado pela descarga do primeiro dispositivo de armazenamento de energia e a alteração no segundo campo magnético gerado pela descarga do segundo dispositivo de armazenamento de energia induz correntes na formação dos sinais gerados utilizados para estimar a propriedade.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que compreende ainda a descarga da terceira energia elétrica armazenada em um terceiro dispositivo de armazenamento de energia para um terceiro ímã comutável (23) disposto no transportador (5), a fim de mudar um terceiro campo magnético na formação em uma direção diferente do primeiro e segundo campos magnéticos, em que a alteração no terceiro campo magnético gerado pela descarga do terceiro dispositivo de armazenamento de energia induz correntes na formação que gera sinais utilizados para estimar a propriedade.

10. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro ímã comutável (21) compreende uma primeira bobina enrolada em torno de um primeiro núcleo magnético



compreendendo um primeiro material permeável magnético, o segundo ímã comutável (22) compreende uma segunda bobina enrolada em torno de um segundo núcleo magnético compreendendo um segundo material permeável magnético, e o terceiro ímã comutável (23) compreende uma terceira bobina enrolada em torno de um terceiro material permeável magnético, e em que a descarga do primeiro dispositivo de armazenamento de energia gera um primeiro dipolo magnético no primeiro material permeável magnético, a descarga do segundo dispositivo de armazenamento de energia gera um segundo dipolo magnético no segundo material permeável magnético, e a descarga do terceiro dispositivo de armazenamento de energia gera um terceiro dipolo magnético no terceiro material permeável magnético.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato de que uma sequência de descarga direta do primeiro dispositivo de armazenamento de energia provoca uma inversão de dipolo magnético do primeiro dipolo magnético, uma descarga diretamente para frente do segundo dispositivo de armazenamento de energia provoca uma inversão de dipolo magnético do segundo dipolo magnético, e uma descarga de sequência diretamente do terceiro dispositivo de armazenamento de energia provoca uma inversão de dipolo magnético no terceiro material permeável magnético.

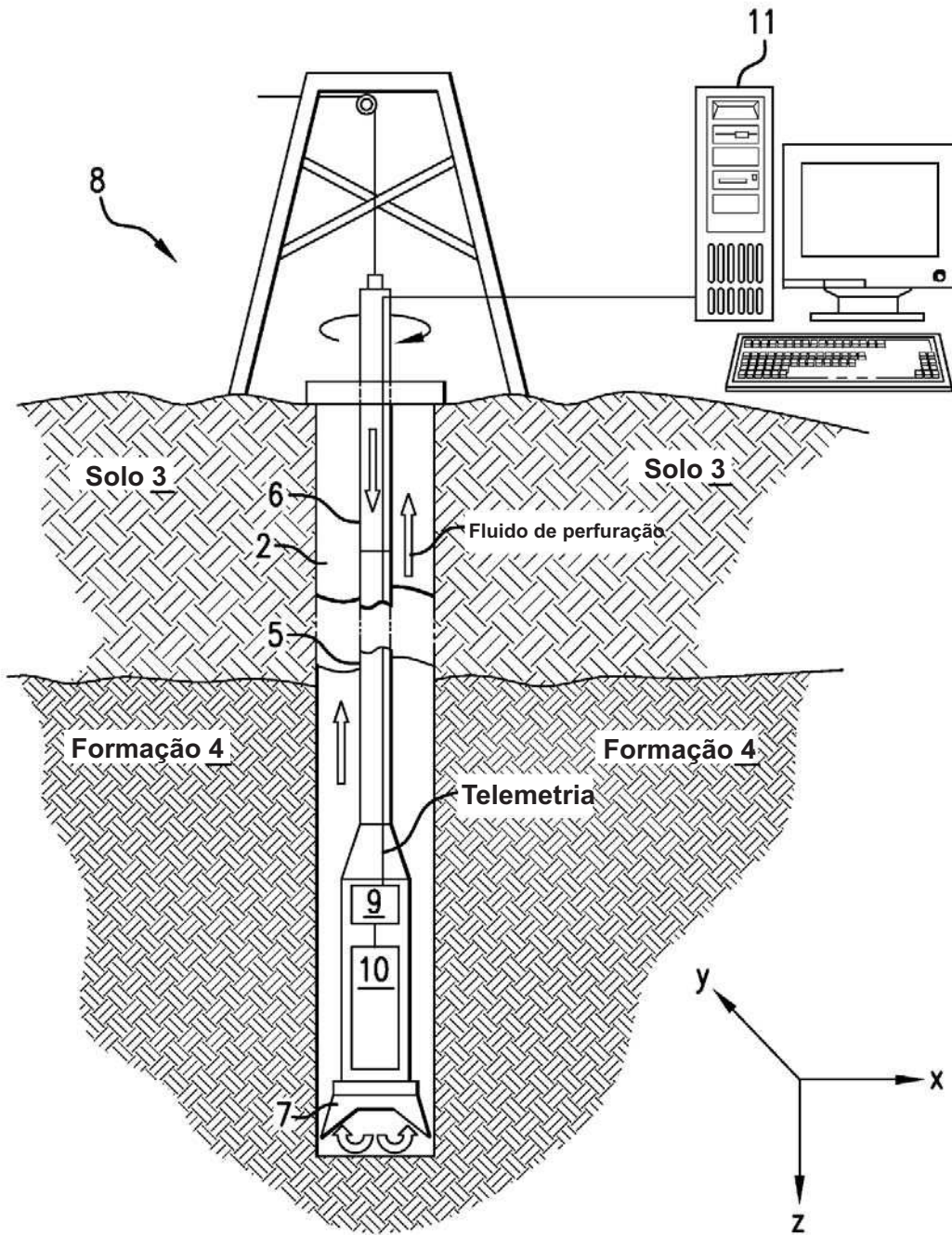


FIG. 1

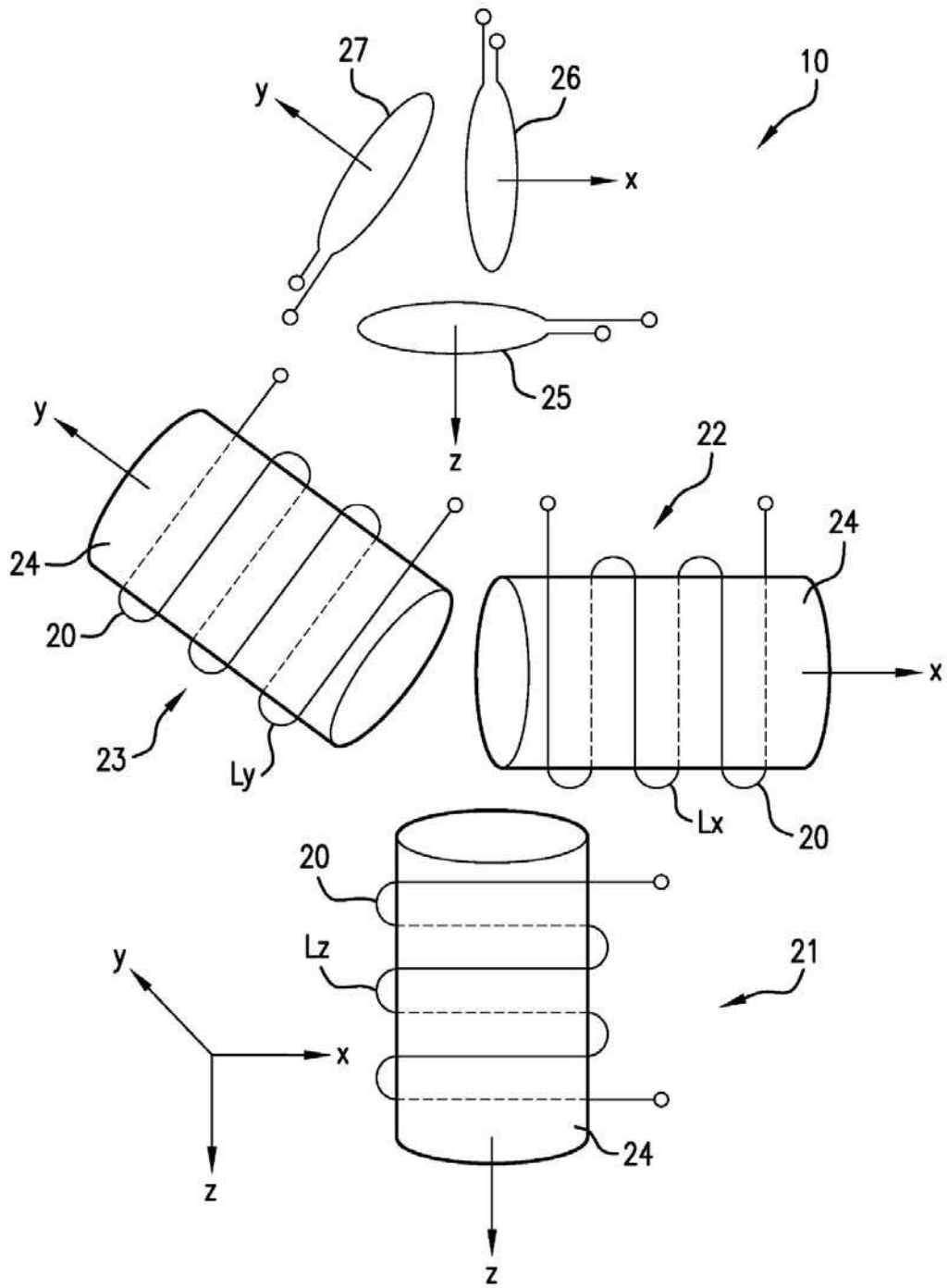


FIG.2

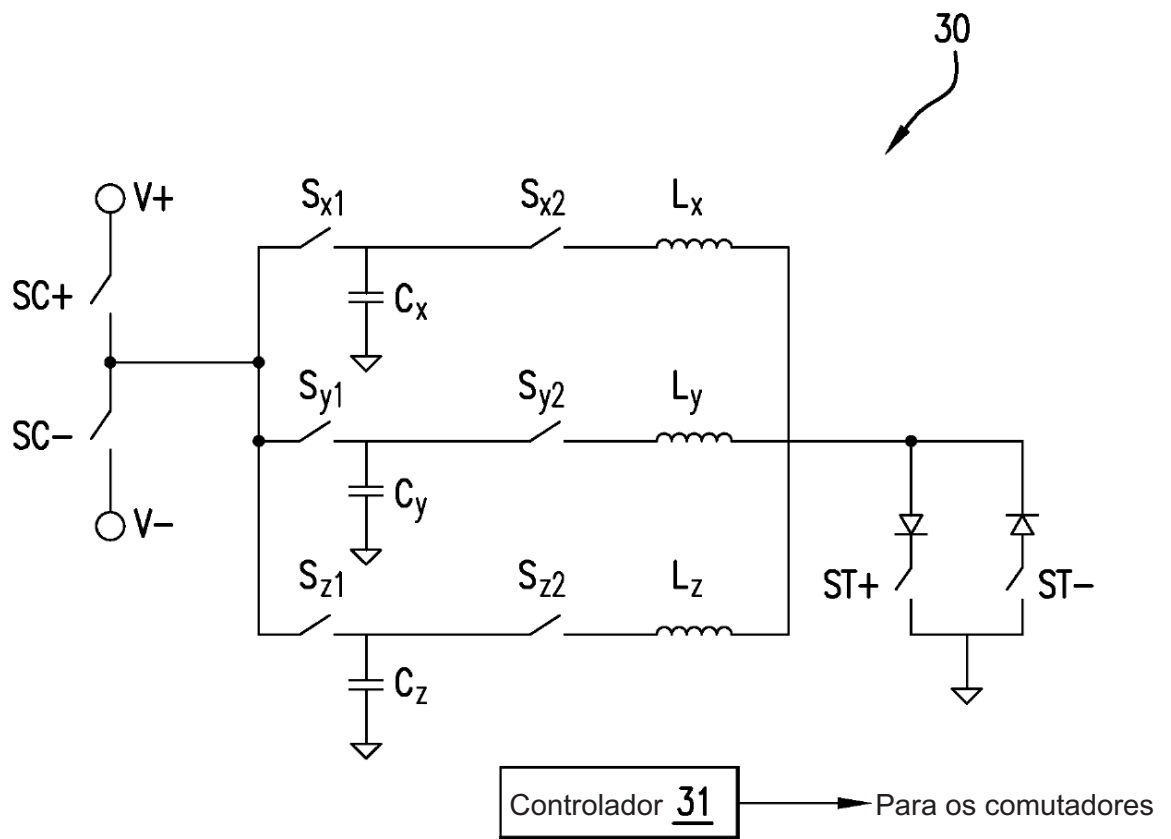


FIG.3

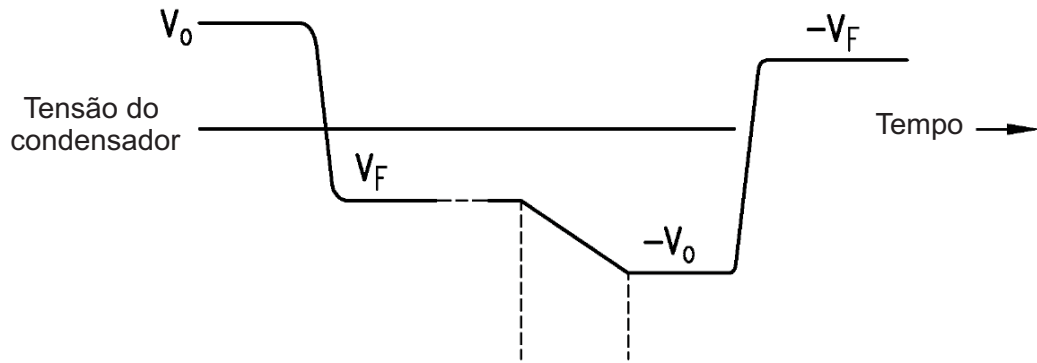


FIG.4A

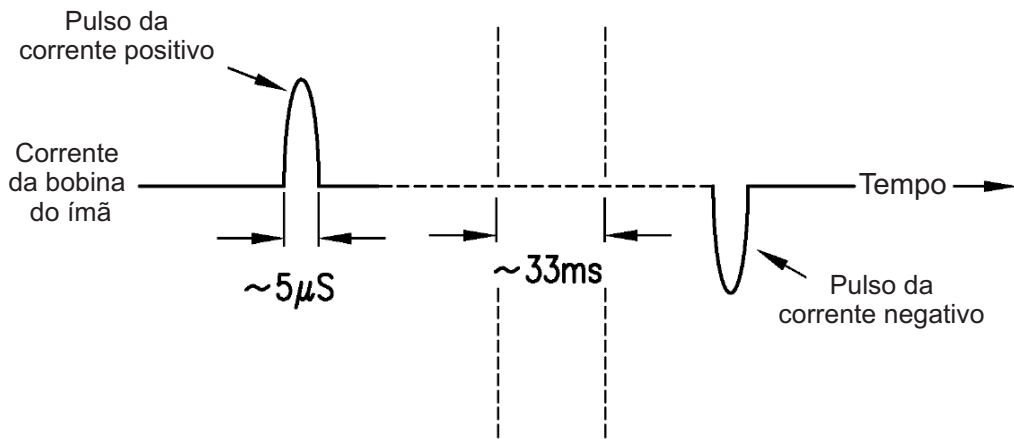


FIG.4B

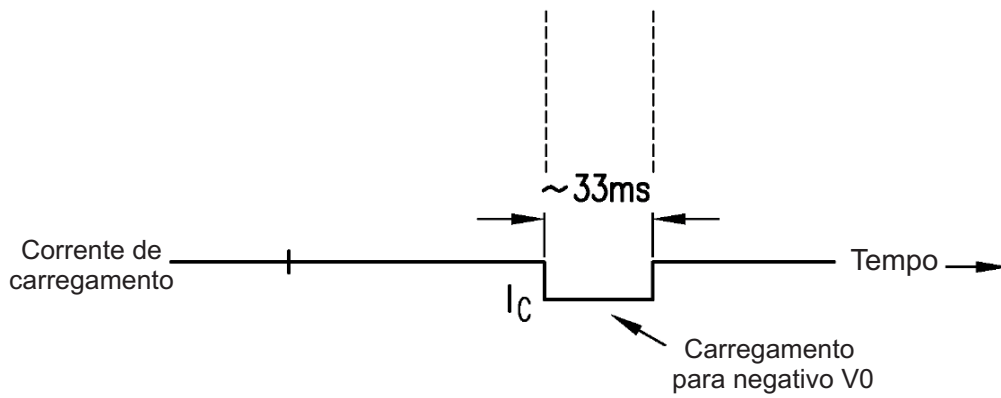


FIG.4C

Pulsos de correntes para as bobinas para uma inversão de dipolo magnético para cada ímã comutável

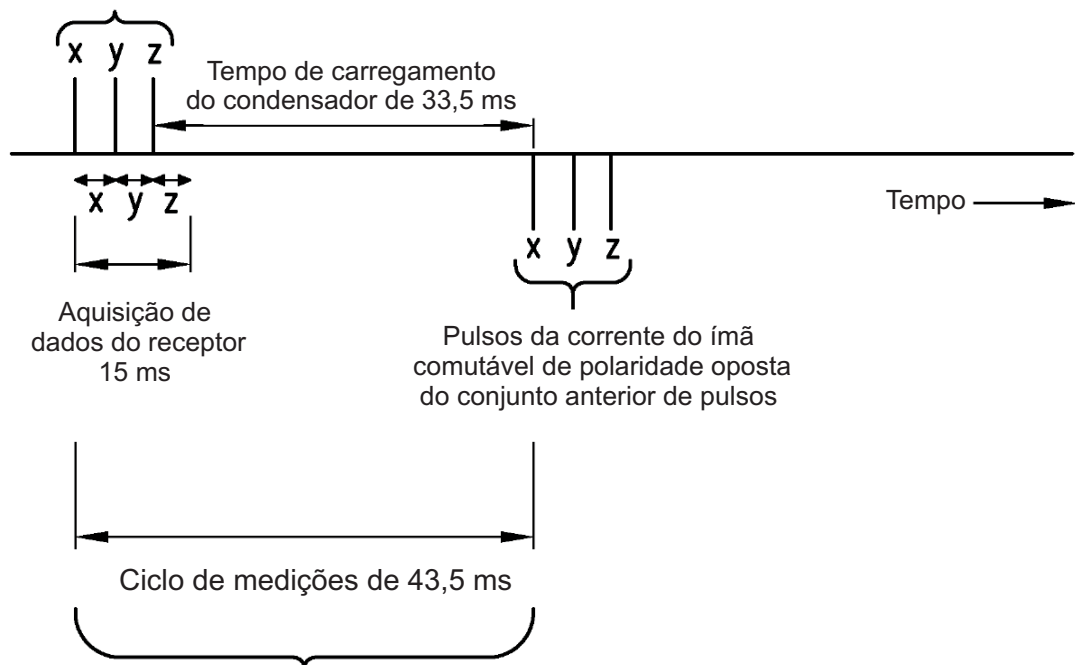


FIG.5

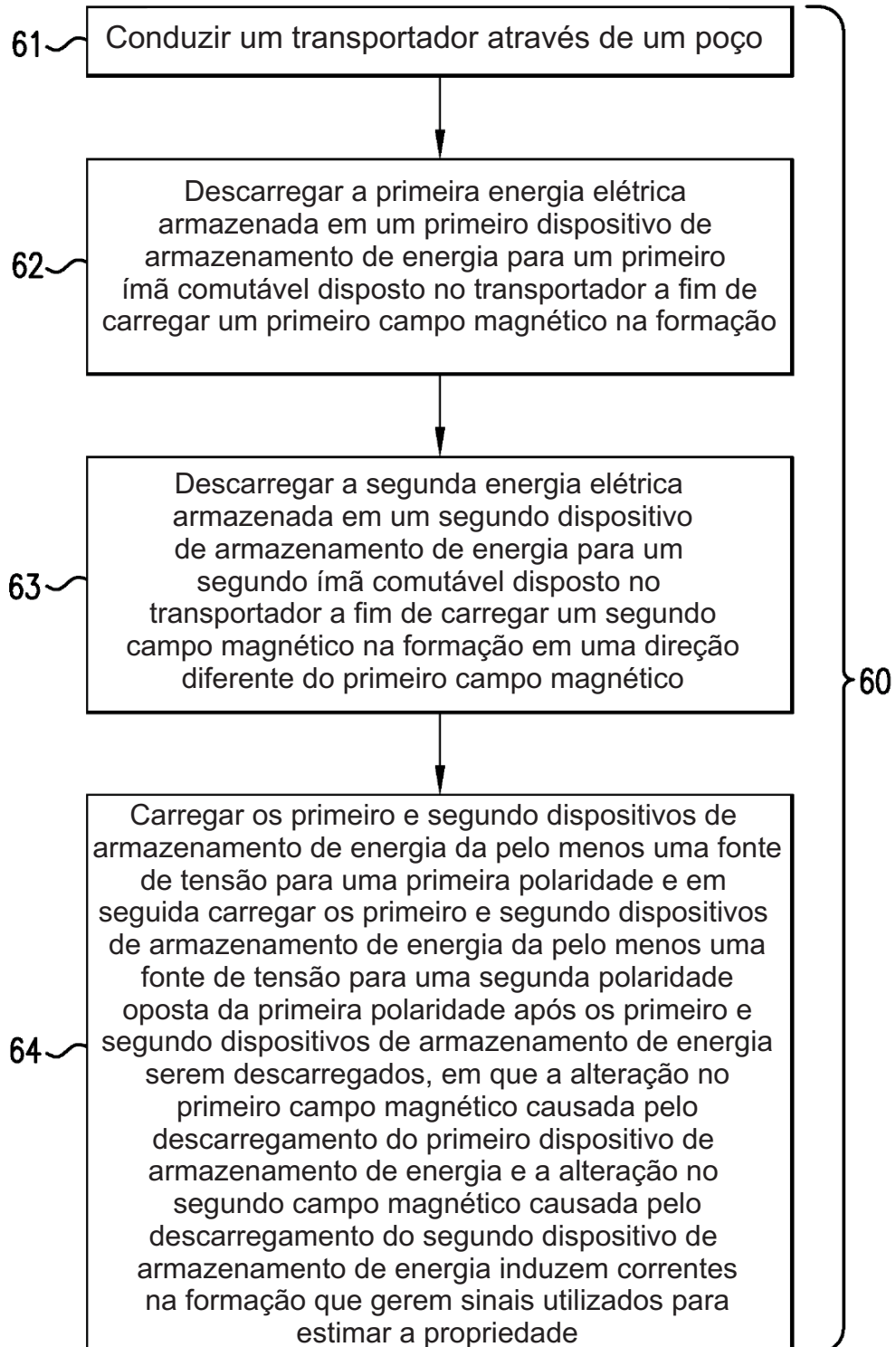


FIG.6