



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

(21) **PI0707316-0 A2**

(22) Data de Depósito: 19/01/2007
(43) Data da Publicação: 19/07/2011
(RPI 2115)



(51) *Int.Cl.*:
G01V 3/18 2006.01

(54) Título: **VERIFICAÇÃO DE SIMULADOR DE CONDUTIVIDADE DE FURO DE SONDAAGEM E EQUILÍBRIO DE BOBINA TRANSVERSA**

(30) Prioridade Unionista: 26/01/2006 US 11/340,785, 08/03/2006 US 11/371,052, 08/03/2006 US 11/371,052, 26/01/2006 US 11/340,785

(73) Titular(es): Baker Hughes Incorporated

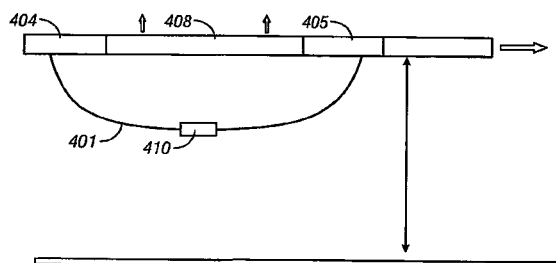
(72) Inventor(es): Luis M. Pelegri, Michael S. Crosskno, Randy Gold, Stanislas W. Forfang

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2007001321 de 19/01/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/089438 de 09/08/2007

(57) Resumo: VERIFICAÇÃO DE SIMULADOR DE CONDUTIVIDADE DE FURO DE SONDAAGEM E EQUILÍBRIO DE BOBINA TRANSVERSA. A calibração das séries de uma ferramenta de registro de indução de múltiplos componentes é obtida posicionando a ferramenta horizontalmente acima do solo. Os alojamentos superior e inferior da ferramenta são conectados por um simulador de condutividade de furo de sondagem que tem a resistência comparável àquela de um furo de sondagem. O posicionamento axial e radial das bobinas transmissoras é feito monitorando saídas em bobinas receptoras para obter um mínimo.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**VERIFICAÇÃO DE SIMULADOR DE CONDUTIVIDADE DE FURO DE SONDAGEM E EQUILÍBRIO DE BOBINA TRANSVERSA**".

Antecedentes da Invenção

5 1. Campo da Invenção

A presente invenção refere-se ao campo de desenho de aparelho no campo de exploração de óleo. Em particular, a presente invenção descreve um método para calibrar dispositivos de registro de múltiplos componentes usados para detectar a presença de óleo em furos de sondagem, penetrando uma formação geológica.

10

2. Descrição da Técnica Relacionada

Instrumentos de registro de poço de resistividade de indução eletromagnética são bem-conhecidos na técnica. Instrumentos de registro de poço de resistividade de indução eletromagnética são usados para determinar a condutividade elétrica, e seu inverso, resistividade, de formações de terra penetradas por um furo de sondagem. A condutividade da formação foi determinada baseada em resultados de medir o campo magnético de correntes de Foucault que o instrumento induz na formação adjacente ao furo de sondagem. A condutividade elétrica é usada, dentre outras razões, inferindo o conteúdo fluido das formações de terra. Tipicamente, a condutividade menor (resistividade maior) está associada com nas formações de terra que produzem hidrocarbonetos. Os princípios físicos de registro de poço de indução eletromagnética são bem descritos, por exemplo, em J.H. Moran e K.S. Kunz, "Basic Theory of Induction Logging and Application to Study of Two-Coil Sondes", Geophysics, vol. 27, Nº 6, part 1, pp. 829-858, Society of Exploration Geophysicists, Dezembro de 1962. Muitos aperfeiçoamentos e modificações em instrumentos de resistividade de indução eletromagnética descritos na referência de Moran e Kunz, acima, foram planejados, alguns dos quais são descritos, por exemplo em US 4837571 para Barber, em US 5157605 para Chandler e outros, e em US 5600246 para Fanini e outros.

30

A ferramenta de registro de poço de resistividade de indução geofísica convencional é uma sonda adequada para baixar dentro do furo de

sondagem e compreende uma seção de sensor contendo um transmissor e receptor e outro equipamento, primariamente elétrico, para inferir os parâmetros físicos que caracterizam a formação. A seção de sensor, ou mandril, compreende transmissores e receptores de indução posicionados ao longo do eixo do instrumento, dispostos na ordem de acordo com as especificações de ferramenta ou instrumento particular e orientados paralelos ao eixo do furo de sondagem. O equipamento elétrico gera uma voltagem elétrica a ser aplicada adicionalmente uma bobina de indução de transmissor, os sinais de condições vindo das bobinas de indução do receptor, processa a informação obtida, armazena e por meio de telemetria envia os dados para a superfície da terra através de um cabo de linha de fios elétricos usado para baixar a ferramenta dentro do furo de sondagem.

Em geral, quando se usa uma ferramenta de registro de indução convencional com transmissores e receptores (bobinas de indução) orientada somente ao longo do eixo do furo de sondagem, as zonas de produção de hidrocarbonetos são difíceis de detectar quando elas ocorrem em reservatórios de múltiplas camadas ou laminados. Estes reservatórios normalmente consistem em camadas alternadas finas de xisto e areia e, frequentemente, as camadas são tão finas que devido à resolução insuficiente da ferramenta de registro convencional não podem ser detectadas individualmente. Neste caso a condutividade média da formação é avaliada.

As técnicas de registro de poço de indução convencionais empregam bobinas enroladas em um mandril isolante. Uma ou mais bobinas de transmissor são energizadas por uma corrente alternada. O campo magnético oscilante produzido por esta disposição resulta na indução de correntes nas formações que são quase proporcionais à condutividade das formações. Estas correntes, por sua vez, contribuem para a voltagem induzida em uma ou mais bobinas de receptor. Selecionando somente o componente de voltagem que está em fase com a corrente de transmissor, é obtido um sinal que é aproximadamente proporcional à condutividade da formação. Em aparelho de registro de indução convencional, a bobina de transmissor e bobina de receptor básicas têm eixos que são alinhados com o eixo longitudinal do

dispositivo de registro de poço. (Para simplicidade de explicação, será assumido que o eixo de furo de sondagem é alinhado com o eixo do dispositivo de registro, e que estes estão na direção vertical. Também bobinas únicas serão subseqüentemente referidas sem levar em consideração bobinas de focalização ou similares). Esta disposição tende a induzir circuitos de corrente secundária nas formações que são concêntricos com as bobinas de transmissão e recepção verticalmente orientadas. As medições de condutividade resultantes são indicativas da condutividade horizontal (ou resistividade) das formações circundantes. Existem, no entanto, várias formações encontradas no registro de poço que têm uma condutividade que é anisotrópica. A anisotropia resulta da maneira em que os leitos de formação foram depositados pela natureza. Por exemplo, "anisotropia uniaxial" é caracterizada pela diferença entre a condutividade horizontal, em um plano paralelo ao plano de leito, e a condutividade vertical, em uma direção perpendicular ao plano de leito. Quando não existe inclinação de leito, a resistividade horizontal pode ser considerada estar no plano perpendicular ao furo de sondagem, e a resistividade vertical na direção paralela ao furo de sondagem. Os dispositivos de registro de indução convencionais, que tendem a ser sensíveis somente à condutividade horizontal das formações, não fornecem uma medida de condutividade vertical ou de anisotropia. Técnicas foram desenvolvidas para determinar a anisotropia de formação. Ver, por exemplo US 4302722 para Gianzero e outros. A anisotropia transversa ocorre freqüentemente tal que as variações em resistividade ocorrem na direção azimutal.

Assim, em um furo de sonda vertical, uma ferramenta de registro de indução convencional com transmissores e receptores (bobinas de indução) orientados somente ao longo do eixo do furo de sondagem, responde à condutividade horizontal média que combina a condutividade de areia e xisto. Estas leituras médias são normalmente dominadas pela condutividade relativamente maior das camadas de xisto e exibir sensibilidade reduzida para camadas de areia de condutividade menor onde reservas de hidrocarbonetos são produzidas. Para tratar deste problema, registradores recorreram ao uso de ferramentas de registro de indução transversa tendo trans-

missores e receptores (bobinas de indução) orientados de modo transversal com respeito ao eixo longitudinal da ferramenta. Tais instrumentos para registro de poço de indução transversa foram descritos na publicação de Patente PCT WO 98/00733 de Beard e outros e US 5452761 para Beard e outros; US 5999883 para Gupta e outros; e US 5781436 para Forgang e outros.

Em ferramentas de registro de indução transversa, a resposta dos sistemas de bobinas transversais é também determinada por uma condutividade média; no entanto, a condutividade relativamente menor das camadas de areia de produção de hidrocarbonetos domina nesta estimativa. Em geral, o volume de xisto/areia na formação pode ser determinado a partir de medições de registro de poço de raios-gama ou nuclear. Então uma combinação da ferramenta de registro de indução convencional com transmissores e receptores orientados ao longo do eixo de poço e a ferramenta de registro de indução transversal podem ser usadas para determinar a condutividade de camadas de xisto e areia individuais.

Uma dificuldade, se não a principal, em interpretar os dados obtidos por uma ferramenta de registro de indução transversal está associada com a vulnerabilidade de sua resposta a condições de furo de sondagem. Dentre estas condições está a presença de um fluido de poço condutivo bem como efeitos de invasão de fluido de furo de poço.

Em instrumentos de registro de indução, a qualidade de dados obtidos depende da distribuição de parâmetro eletromagnético da formação (condutividade ou resistividade) em que os receptores de indução de ferramenta operam. Assim, no caso ideal, a ferramenta de registro mede sinais magnéticos induzidos por correntes de Foucault que fluem na formação. Variações na magnitude e fase das correntes de Foucault que ocorrem em resposta a variações na condutividade a formação são refletidas como variações respectivas na voltagem de saída dos receptores. Nos instrumentos de indução convencionais estas voltagens de bobina de indução de receptor são condicionadas e então processadas usando detectores sensitivos de fase analógica ou digitalizados por conversores de digital para analógico e

então processados com algoritmos de processamento de sinal. O processamento permite determinar a amplitude e fase da voltagem do receptor com respeito à forma de onda da corrente ou campo magnético do transmissor de indução. Verificou-se ser conveniente para interpretação geofísica de furo ascendente para distribuir o sinal de receptor processado como uma combinação de vetor de dois componentes de voltagem: um estando em fase com a forma de onda de transmissor e outro componente de quadratura fora de fase. Teoricamente, a amplitude de componente de voltagem de bobina em fase é o indicador mais sensível e livre de ruído da condutividade da formação.

Existem umas poucas margens de hardware e limitações de software que impactam o desempenho de ferramenta de registro de indução transversal convencional e resultam em erros que aparecem nos dados obtidos.

O problema de hardware geral está tipicamente associado com um campo elétrico inevitável que é irradiado pelo transmissor de indução de ferramenta simultaneamente com o campo magnético desejável, e acontece de acordo com as equações de Maxwell para o campo variando com o tempo. O campo elétrico do transmissor interage com os módulos restantes da ferramenta de registro de indução e com a formação; no entanto, esta interação não produz qualquer informação útil. De fato, devido à possibilidade sempre existente para este campo ser acoplado diretamente na parte de receptor da seção de sensor através das correntes de deslocamento parasitas, introduz o ruído. Quando este acoplamento ocorre, o campo elétrico desenvolve potenciais elétricos indesejáveis na saída do condicionamento de sinal de receptor, primariamente através do receptor de bobina de indução, e esta voltagem se torna um componente de ruído aditivo ao sinal de interesse introduzindo um erro sistemático nas medições.

O problema poderia se tornar mesmo mais severo se a ferramenta de registro de indução opera em poços contendo fluidos a base de água. A lama a base de água tem permissividade elétrica significativamente maior comparado com o ar ou com o fluido a base de óleo. Ao mesmo tem-

po, a impedância elétrica para as correntes de deslocamento acima mencionadas pode ser sempre considerada como acoplamento capacitivo entre a fonte – o transmissor de indução e o ponto de acoplamento. Esta circunstância aparentemente resultaria em um fato que o acoplamento capacitivo e
5 erros sistemáticos associados são dependentes do ambiente porque a impedância capacitiva será convertida em permissividade de lama de poço.

O método convencional em reduzir este acoplamento capacitivo no instrumento de registro de indução e baseia em usar blindagens elétricas especiais (Faraday) enroladas em torno das bobinas de indução de trans-
10 missor e receptor. Estas blindagens são eletricamente fixadas no ponto comum de terra análogo do transmissor para fixar seu próprio potencial elétrico e fornecer retornos das correntes de deslocamento de volta para a sua fonte – transmissor em vez de acoplamento em qualquer outro lugar na ferramenta. No entanto, a eficiência de geometria e desenho das blindagens de Faraday se torna marginal e contraditória em aplicações de alta frequência onde
15 ferramentas de indução transversa convencionais podem operar. Estas limitações ocorrem devido à atenuação destas blindagens introduzidas no campo magnético conhecida na técnica como um “efeito pelicular” de blindagem. As limitações de desenho de blindagem são inevitáveis e, portanto, permanece a possibilidade para o acoplamento através de correntes de deslocamento.
20

Outra fonte de erros de hardware introduzida nos dados de registro obtidos está associada à diferença de potencial elétrico entre as partes condutoras de ferramenta diferentes e, em particular, entre os alojamentos de pressão de transmissor e receptor se estes módulos são espaçados ou
25 separados galvanicamente. Estes alojamentos cobrem módulos eletrônicos respectivos e os protege da exposição ao ambiente de poço severo incluindo fluidos de perfuração e alta pressão. Tipicamente, o alojamento de pressão tem uma conexão elétrica sólida com o ponto comum do módulo elétrico que cobre, no entanto, as opções de desenho com alojamentos flutuantes “galvanicamente” também existem. Se por algumas razões, principalmente imperfeições em ferramentas de indução convencionais, os pontos comuns de
30

módulos eletrônicos diferentes têm uma diferença de potencial elétrico entre eles, esta diferença aparecerá nos alojamentos de pressão. Pode ocorrer mesmo em um desenho com alojamentos flutuantes "galvanicamente" se o instrumento opera nas altas frequências e, em particular, através do acoplamento capacitivo que estas partes de metal poderiam ter com os módulos eletrônicos encapsulados em uma embalagem metálica condutiva.

Ter potenciais elétricos diferentes em alojamentos de pressão separados forçará a corrente elétrica a fluir entre eles. Esta corrente teria uma natureza condutora e alta magnitude se a ferramenta de indução é imersa em um fluido de poço condutor e será uma corrente de deslocamento de magnitude tipicamente muito menor para operações de ferramenta em uma lama a base de óleo ou menos condutora. Em ambos os casos, esta corrente varia com o tempo; portanto produz um campo magnético variando com o tempo associado que é ambientalmente dependente e medido pelo receptor de indução. Para aqueles versados na técnica deve ser entendido que uma influência indesejável daquelas correntes nos dados de registro seria significativamente maior na ferramenta de indução transversa convencional comparada com os instrumentos tendo bobinas de indução coaxiais com o eixo longitudinal de ferramenta somente. Em particular, isto é devido à geometria do desenho total aceito comumente de ferramentas de registro de indução onde as seções de transmissor e receptor são axialmente separadas pelo mandril. Pode ser notado que empregando a ferramenta de indução no cordão de registro onde tem conexões mecânicas e elétricas (incluindo telemetria) com instrumentos posicionados acima e abaixo poderia também resultar no aparecimento das correntes acima mencionadas.

Outra fonte dos desvios potenciais dos alojamentos é o transmissor de ferramenta de indução propriamente dito. O campo elétrico restante, que este transmissor irradia simultaneamente com um campo magnético, poderia ser diferente na superfície de alojamentos de pressão separados. A severidade deste erro também depende das imperfeições das blindagens de Faraday como descrito anteriormente.

Existe um problema adicional que a diferença potencial cria em

desenhos de ferramenta convencional tendo módulos eletrônicos de transmissor e receptor espaçados e usando fios de interconexão se deslocando por toda a seção de sensor (mandril). Estes fios devem ser blindados elétrica e magneticamente das bobinas de receptor de indução na seção de sensor.

- 5 O feixe inteiro de fios é colocado dentro de uma blindagem de metal altamente condutor que é eletricamente conectada com os pontos comuns de módulos eletrônicos de transmissor e receptor. Esta espessura da blindagem é selecionada para permitir a supressão de diafonia mútua entre os fios e as bobinas da seção de sensor dentro da largura de banda de frequência operacional inteira e, primariamente, em sua extremidade inferior. Em alguns
- 10 casos, esta blindagem é um tubo de cobre oco, freqüentemente chamado de tubo de alimentação direta, com uma parede relativamente espessa.

- No entanto, além de proteger as bobinas de transmissor e receptor da seção de sensor e interconectar os fios contra a diafonia mútua, esta
- 15 blindagem cria simultaneamente uma trajetória galvânica para as correntes que poderiam ser acionadas por alojamentos de pressão e/ou diferenças de potencial eletrônico, ou induzidas pelo transmissor de indução (como discutido na Patente US Nº. 6.586.939, para Fanini e outros, tendo o esmo cessionário que o presente pedido e os conteúdos da qual são incorporados aqui por referência). Esta trajetória aparentemente existe ao longo da superfície externa da blindagem e para uma dada frequência, sua profundidade e impedância foram controladas pela geometria da blindagem, condutividade de material e permeabilidade magnética. As correntes variando com o tempo também geram um campo magnético respectivo que cruza as bobinas de
- 20 receptor de indução e induz voltagens de erro. Infelizmente, estas voltagens de erro são também ambientalmente dependentes e suas mudanças não podem ser suficientemente calibradas durante a fabricação da ferramenta. A análise total da influência de diferença de potencial demonstra que no fluido de poço condutor, correntes galvânicas que fluem através do fluido ao longo
- 25 da superfície externa da ferramenta de indução dominariam. A superposição e magnitude destas correntes galvânicas dependem fortemente da temperatura ambiente que empurra o desempenho da ferramenta de indução con-
- 30

vencional para deterioração adicional.

Outra fonte de erros sistemáticos introduzidos nos dados de registro é determinada diretamente por incertezas em dimensões mecânicas de bobinas de transmissor e receptor de múltiplos componentes na seção de sensor relacionada com suas dimensões e posições totais com respeito uma a outra. Assim, para manter as relações de fase de sinal exigidas, os desenhos da ferramenta convencional contaram primeiramente com a estabilidade mecânica e propriedades elétricas de materiais de plástico e cerâmica avançados para construir o mandril. No entanto, mesmo ligeiros desvios de montagem física na posição de fios de bobina e bobina não uniforme formam dependências de temperatura de material poderiam destruir uma compensação predeterminada de fábrica do campo magnético primário do transmissor acoplado na bobina de receptor (neutralização) durante o registro de poço, e criar erros não recuperáveis devido ao deslocamento mecânico ou imperfeições.

A Patente US 6.734.675 e a Patente US 6.586.939 para Fanini e outros, ambas tendo o mesmo cessionário que o presente pedido e os conteúdos das quais são incorporados aqui por referência, tratam de algumas questões presentes na calibração e uso de ferramentas de registro de indução de múltiplos componentes. A '939 de Fanini, descreve uma ferramenta de registro de indução transversa tendo um transmissor e receptor para amostragem de furo descendente de propriedades da formação, a ferramenta tendo uma bobina de transmissor de bobina dividida blindada simétrica e uma bobina de neutralização interposta entre as bobinas de transmissor divididas para reduzir o acoplamento do campo magnético variando com o tempo do transmissor no receptor. A ferramenta fornece blindagem simétrica das bobinas e aterramento tanto na extremidade do transmissor ou receptor somente para reduzir o acoplamento de correntes induzidas no sinal recebido. A ferramenta fornece um isolante entre os eletrônicos do receptor e o alojamento do receptor condutor tendo contato com o fluido do furo de poço condutor, para reduzir a corrente parasita que flui em um circuito formado pelo alojamento superior, tubo de alimentação direta, alojamento inferior e

fluido de furo de poço adjacente ao alojamento de sonda ou mandril. Um circuito de verificação interna é fornecido para rastrear as mudanças na corrente do transmissor na realidade e o componente de quadratura do sinal de dados recebido.

- 5 A '675 de Fanini descreve uma ferramenta de indução transversa tendo um transmissor e receptor para amostragem de furo descendente das propriedades da formação, a ferramenta tendo uma bobina de transmissor de bobina dividida blindada simétrica e uma bobina de neutralização interposta entre as bobinas de transmissor divididas para reduzir o acoplamento do campo magnético variando com o tempo do transmissor no receptor. A
- 10 ferramenta fornece blindagem simétrica das bobinas e aterramento tanto na extremidade do transmissor ou receptor somente para reduzir o acoplamento de correntes induzidas no sinal recebido. A ferramenta fornece um isolante entre os eletrônicos do receptor e o alojamento do receptor condutor tendo
- 15 contato com o fluido do furo de poço condutor, para reduzir a corrente parasita que flui em um circuito formado pelo alojamento superior, tubo de alimentação direta, alojamento inferior e fluido de furo de poço adjacente ao alojamento de sonda ou mandril. Um circuito de verificação interna é fornecido para rastrear as mudanças na corrente do transmissor na realidade e o
- 20 componente de quadratura do sinal de dados recebido.

Sumário da Invenção

- Uma modalidade da invenção é um método para preparar uma ferramenta de registro de indução de múltiplos componentes tendo uma pluralidade de bobinas de transmissor e uma pluralidade de bobinas de receptor. O método inclui posicionar a ferramenta de registro em uma área de calibração substancialmente livre dos componentes capazes de interferir com os campos magnético e elétrico produzidos pela ferramenta. Um primeiro alojamento condutor da ferramenta é acoplado com um segundo alojamento condutor da ferramenta através de um simulador de condutividade de furo de
- 25 sondagem tendo uma impedância similar àquela de um ambiente de furo de sondagem. Uma primeira bobina da pluralidade de bobinas de transmissor é
- 30 ativada e o sinal em uma primeira bobina da pluralidade de bobinas de re-

ceptor é medida. A primeira bobina da pluralidade de bobinas de transmissor é movida com relação a um tubo de passagem condutor entre o primeiro alojamento e o segundo alojamento para reduzir uma magnitude do sinal. A primeira bobina da pluralidade de bobinas de receptor é movida com relação

5 ao tubo de passagem até que a magnitude do sinal seja substancialmente igual a zero. Este método pode ainda incluir posicionar a primeira bobina da pluralidade de bobinas de receptor em uma posição descentrada na ferramenta de registro antes de fazer a medição. O método pode ainda compreender orientar a ferramenta de registro com seu eixo longitudinal substancialmente paralelo ao solo. A primeira bobina da pluralidade de bobinas de transmissor pode ter um eixo que é substancialmente paralelo a um eixo longitudinal da ferramenta, ou substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta. A primeira bobina da pluralidade de bobinas de receptor pode ter um eixo que é substancialmente paralelo a um eixo longitudinal da

10 ferramenta, ou substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta. O método pode ainda incluir rodar a ferramenta em torno de um eixo longitudinal da ferramenta, ativar uma segunda bobina da pluralidade de bobinas de transmissor e medir um sinal adicional em uma segunda bobina da pluralidade de bobinas de receptor, e mover a segunda bobina da pluralidade

15 de bobinas de transmissor com respeito ao tubo de passagem para reduzir uma magnitude do sinal adicional. O método pode ainda incluir acoplar magneticamente a ferramenta em um calibrador, ativar a primeira bobina da pluralidade de bobinas de transmissor, e determinar a partir de um sinal recebido em uma bobina específica da pluralidade de bobinas de receptor uma

20 função de transferência entre a bobina específica e a primeira bobina da pluralidade de bobinas de transmissor. A ferramenta pode ser posicionada dentro do calibrador.

25

Outra modalidade da invenção é um aparelho para avaliar o desempenho de uma ferramenta de registro de indução de múltiplos componentes tendo uma pluralidade de bobinas de transmissor e uma pluralidade

30 de bobinas de receptor. A ferramenta é posicionada em uma área de calibração substancialmente livre de componentes capazes de interferir com

campos magnético e elétrico produzidos pela ferramenta. O aparelho inclui um simulador de condutividade de furo de sondagem tendo uma impedância similar àquela de um ambiente de furo de sondagem, o simulador de condutividade de furo de sondagem acoplando um primeiro alojamento da ferramenta com um segundo alojamento da ferramenta. O aparelho inclui um processador configurado para ativar uma primeira bobina da pluralidade de bobinas de transmissor. O aparelho ainda inclui uma primeira bobina da pluralidade de bobinas de receptor configurada para fornecer um sinal responsivo à ativação da primeira bobina de transmissor. O aparelho inclui um dispositivo configurado para mover a primeira bobina da pluralidade de bobinas de transmissor com relação à primeira bobina da pluralidade de bobinas de receptor para reduzir uma magnitude do sinal, e mover a primeira bobina da pluralidade de bobinas de receptor com relação ao tubo de passagem condutor até que a magnitude do sinal é substancialmente zero. O dispositivo pode ainda ser configurado para posicionar a primeira bobina da pluralidade de bobinas de receptor em uma posição descentrada na ferramenta de registro. A primeira bobina da pluralidade de bobinas de transmissor pode ter um eixo que é substancialmente paralelo a um eixo longitudinal da ferramenta, ou substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta. A primeira bobina da pluralidade de bobinas de receptor pode ter um eixo que é substancialmente paralelo a um eixo longitudinal da ferramenta, ou substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta. O aparelho pode ainda incluir um calibrador em que a ferramenta de registro é magneticamente acoplada com o calibrador, e o processador é ainda configurado para determinar a partir do sinal uma função de transferência entre a primeira bobina da pluralidade de transmissores e a primeira bobina da pluralidade de receptores.

Breve Descrição dos Desenhos

A presente invenção é entendida melhor com referência às figuras anexas em que numerais iguais referem-se a elementos iguais e em que:

a figura 1 (técnica anterior) mostra esquematicamente um furo de poço se estendendo em uma formação de terra laminada, dentro de cujo

furo de poço uma ferramenta de registro de indução como usada de acordo com a invenção foi baixada;

a figura 2A (técnica anterior) ilustra uma medição de resistividade na direção vertical;

5 a figura 2B (técnica anterior) ilustra uma medição de resistividade na direção horizontal;

a figura 3 é um fluxograma total dos procedimentos da presente invenção;

10 a figura 4 ilustra um simulador de condutividade de furo de sondagem (BCS) usado na presente invenção;

a figura 5 ilustra uma montagem para calibragem de sistemas transversos em uma ferramenta de registro;

a figura 6 ilustra uma montagem para calibrar sistemas longitudinais em uma ferramenta de registro;

15 as figuras 7 e 8 ilustram montagens para calibrar sistemas de componentes cruzados XY; e

as figuras 9 e 10 ilustram montagens para calibrar sistemas de componentes cruzados XY.

Descrição Detalhada da Invenção

20 A estrutura de instrumento fornecida pela presente invenção permite estabilidade aumentada e precisão em uma ferramenta de furo de poço de indução e suas capacidades operacionais, que, por sua vez, resulta em melhor qualidade e utilidade de dados de furo de poço obtidos durante o registro. Os aspectos da presente invenção são aplicáveis para aperfeiçoar a
25 estrutura de uma maioria de ferramentas de indução conhecidas.

A invenção será agora descrita em mais detalhe e por meio de exemplo com referência aos desenhos anexos. A figura 1 mostra esquematicamente um furo de poço 1 se estendendo em uma formação de terra laminada, dentro de cujo furo de poço uma ferramenta de registro como usada
30 de acordo com a presente invenção foi baixada. O furo de poço na figura 1 se estende dentro de uma formação de terra que inclui uma camada de areia de produção de hidrocarboneto 3 localizada entre uma camada de xisto su-

perior 5 e uma condutividade maior que a camada de areia de produção de hidrocarboneto 3. Uma ferramenta de registro de indução 9 usada na prática da invenção foi baixada dentro do furo de poço 1 por meio de uma linha de fio 11 se estendendo através de um equipamento de prevenção de explosão 13 (mostrado esquematicamente) localizado na superfície da terra 15. O equipamento de superfície 22 inclui um suprimento de energia elétrica para fornecer energia elétrica ao conjunto de bobinas 18 e um processador de sinal para receber e processar sinais elétricos das bobinas de receptor 19. Alternativamente, o suprimento de energia e/ou processadores de sinal estão localizados na ferramenta de registro.

A orientação relativa do furo de poço 1 e da ferramenta de registro 9 com relação às camadas 3, 5, 7, é determinada por dois ângulos, um dos quais θ como mostrado na figura 1. Para a determinação destes ângulos ver, por exemplo, US 5999883 para Gupta, e outros. A ferramenta de registro 9 é fornecida com um conjunto de bobinas de transmissor 18 e um conjunto de bobinas de receptor 19, cada conjunto das bobinas 18, 19 sendo conectado no equipamento de superfície 22 por meio de condutores adequados (não mostrados) se estendendo ao longo da linha de fios 11.

Cada conjunto de bobinas 18 e 19 inclui três bobinas (não mostradas), que são dispostas tal que o conjunto tem três momentos de dipolo magnético em direções mutuamente ortogonais, isto é, nas direções x, y, e z. O conjunto de bobinas de transmissor de três bobinas transmite campos magnéticos T_x , T_y e T_z ; as bobinas de receptor medem o sinal induzido das direções principais R_x , R_y e R_z bem como os componentes cruzados R_{xy} , R_{xz} e R_{zy} . Assim, o conjunto de bobinas 18 tem momentos de dipolo magnético 26a, 26b, 26c e o conjunto de bobinas 19 tem momentos de dipolo magnético 28a, 28b, 28c. Em uma modalidade o conjunto de bobina de transmissor 18 é eletricamente isolado do conjunto de bobina de receptor 19. As bobinas com momentos de dipolo magnético 26a e 28a são bobinas transversas, isto é são orientadas de modo que os momentos de dipolo magnético são orientados perpendiculares ao eixo do furo de poço, onde a direção de momento de dipolo magnético 28a é oposta à direção do momento de dipolo magnéti-

co 26a. Além do mais, o conjunto de bobinas 18 e 19 são posicionados substancialmente ao longo do eixo longitudinal da ferramenta de registro 9.

Como mostrado na figura 2A, as ferramentas de registro convencionais fornecem uma bobina de transmissor e de receptor que medem a resistividade na direção horizontal. No modo mostrado na figura 2A, as resistividades de camadas de xisto de alta resistividade e baixa resistividade adjacentes parecem em paralelo, assim a medição de resistividade é dominada por xisto de baixa resistividade. Como mostrado nas figuras 1 e 2B, na presente invenção uma bobina transversa é adicionada à resistividade medida na direção vertical. Na direção vertical, a resistividade da areia altamente resistiva e xisto de baixa resistividade parecem em série e assim a medição de resistividade de série vertical é dominada pela resistividade da areia altamente resistiva.

Para facilidade de referência, a operação normal da ferramenta 9, como mostrado nas figuras 1 e 2B, será descrita depois aqui somente para as bobinas tendo momentos de dipolo na direção x, isto é momentos de dipolo 26a e 28a. Durante a operação normal, uma corrente alternada de uma frequência f_1 foi acionada pelos eletrônicos da ferramenta (não mostrados) conectados na bobina 26 que, por sua vez, é suprida pelo suprimento de energia elétrica do equipamento de superfície 22 no conjunto de bobina de transmissor 18 de modo que um campo magnético com momento de dipolo magnético 26a é induzido na formação. Em uma modalidade alternativa, a frequência é examinada através de uma faixa de f_1 a f_2 . Este campo magnético se estende dentro da camada de areia 3 e induz um número de correntes de Foucault locais na camada de areia 3. A magnitude das correntes de Foucault locais é dependente de sua localização relativa ao conjunto de bobina de transmissor 18; a condutividade da formação de terra em cada localização, e a frequência em que o conjunto de bobina de transmissor 18 está operando. Em princípio, as correntes de Foucault locais atuam como uma fonte induzindo de novas correntes, que novamente induzem novas correntes adicionais, e assim em diante. As correntes induzidas na camada de areia 3 induzem um campo magnético de resposta na formação, que não

está em fase com o campo magnético transmitido, mas que induz um sinal de resposta no conjunto de bobina de receptor 19. A magnitude da corrente induzida na camada de areia 3 depende da condutividade da camada de areia 3, a magnitude da corrente de resposta no conjunto de bobina de receptor 19. A magnitude também depende da condutividade e desse modo fornece uma indicação da condutividade da camada de areia 3. no entanto, o campo magnético gerado pelo conjunto de bobina de transmissor 18 não somente se estende dentro da camada de areia 3, mas também no fluido de furo de poço e nas camadas de xisto 5 e 7 de modo que correntes no fluido de furo de poço e as camadas de xisto 5 e 7 são induzidos.

Os procedimentos totais da presente invenção, usados para assegurar o funcionamento apropriado de uma ferramenta de registro de indução de múltiplos componentes desdobrada, são resumidos na figura 3. A calibração dos sistemas do instrumento é feita, estimando particularmente seu coeficiente de transferência 101. Subseqüentemente, uma verificação final da consistência de sintonia e calibração é realizada em 103. Isto é seguido por uma verificação de suficiência de isolante 105 para impedir que um fluxo de corrente axial entre os eletrônicos/alojamentos de topo e fundo da ferramenta através do tubo de alimentação direta e condutores enquanto registra nos furos de sondagem cheios com lama condutora.

Em detalhe adicional, a ferramenta completamente feita é colocada em área de calibração que tem um número pequeno de partes externas que poderiam interferir com campos magnéticos e elétricos produzidos ou recebidos pela ferramenta e assim afetam leituras de ferramenta (maquinaria, ferramentas de medição, etc.). Por exemplo, posicionar a ferramenta em aproximadamente 4,6 m (15 pés) acima do dolo tipicamente reduz a leitura ambiental da ferramenta a um valor menor que cerca de 10 mS/m. A ferramenta é posicionada paralela à terra com o sistema a ser ajustado apontando normal ao solo.

A figura 4 ilustra o BSC, compreendendo uma montagem de condutor 401 e resistor 410, que acopla eletricamente o alojamento de topo 405 e o alojamento de fundo 404. um circuito fechado é assim criado do alo-

jamento de fundo 404 através do resistor 410, através do alojamento de topo 405, através de um tubo de alimentação direta se deslocando do alojamento de fundo para o alojamento de topo através do mandril 408. O valor do resistor 410 pode ser configurado para ser aproximadamente igual a um valor de condutividade (ou resistividade) total entre os alojamentos de topo e fundo que a ferramenta experimental dentro de um furo de sondagem de acordo com suas especificações. Um valor de resistência de aproximadamente 20 Ohms é tipicamente escolhido.

Nesta disposição, a ferramenta se torna muito sensível á corrente axial que poderia ser induzida pelo sistema de transmissor no circuito seguinte: “alojamento de topo – tubo de alimentação direta condutor – alojamento de fundo – BCS”. A magnitude da corrente será proporcional ao deslocamento de sistema de bobinas de seu alinhamento longitudinal (quase verdade para pequenos deslocamentos $\sim 1/d$) e valor de resistor simulador.

Para equilibrar o sistema, sua bobina de transmissor pode ser movida no plano paralelo ao solo. Este movimento de bobina é realizado até que um mínimo absoluto na leitura do receptor é alcançado. Em uma modalidade da invenção, a bobina de receptor é posicionada fora do centro com relação à ferramenta. Nesta posição, o sinal de receptor é particularmente sensível ao desalinhamento do transmissor. Isto torna mais fácil determinar o mínimo. No ajuste, a estrutura de bobina de transmissor é fixada dentro do mandril. Isto poderia ser realizado com os conjuntos de parafusos não condutores e/ou com epóxi; no entanto, meios alternativos poderiam ser aplicados, também. Causando curto o isolante entre o alojamento superior e o mandril faz aumentar significativamente a magnitude da corrente axial neste procedimento de teste e, portanto, aumentando a precisão do equilíbrio. Um posicionamento similar pode ser feito na direção vertical. Como discutido abaixo, a ferramenta é mais sensível ao mau posicionamento na direção vertical que na direção horizontal. Os parafusos de posicionamento adequados podem ser fornecidos na ferramenta de registro para realizar este movimento.

Seguindo o posicionamento da bobina de transmissor, a bobina

de receptor é movida para uma posição onde o sinal e a bobina de receptor é zero. Quando isto é feito, o transmissor e o receptor particulares são apropriadamente equilibrados, A descrição acima foi feita com respeito ao movimento das bobinas com relação uma a outra. Deve ser entendido que quando estes movimentos são feitos, as bobinas estão também sendo movidas com relação ao tubo de alimentação direta.

Depois que o primeiro sistema horizontal foi sintonizado, a ferramenta é rodada em torno de seu eixo e o procedimento similar foi realizado com o sistema horizontal seguinte. Em geral, o instrumento poderia ter uma pluralidade de sistemas transversos e inclinados de modo que a sintonia similar poderia ser desenvolvida para cada sensor. Depois do equilíbrio de todos os sistemas foi completado, o curto de isolamento de ferramenta é removido e o mandril é coberto com a luva de pressão não condutora.

A calibração do coeficiente de transferência é feita depois que o instrumento é posicionado no ambiente de calibração de baixa condutividade e inserido dentro do calibrador. O princípio de calibração se baseia em introduzir uma certa carga dissipável através do acoplamento magnético para sistema de calibração de modo que suas leituras de sinal são idênticas aos valores a serem lidos enquanto registra uma formação homogênea com condutividade finita. Isto é feito com o uso de um calibrador cujos parâmetros eletromagnéticos e o acoplamento com a ferramenta são precisamente conhecidos. Usando o calibrador, o carregamento de ferramenta é obtido conectando a certa impedância no terminal do circuito de calibrador normalmente aberto. Assim, o circuito aberto apresenta uma formação infinitamente resistiva. Inversamente, em curto, a formação quase infinitamente condutora é apresentada. Portanto, qualquer valor da condutividade de formação corresponde a seu valor único da carga de circuito de calibração.

Obter o sinal de calibração é tipicamente feito no modo "carga de calibração conectada-desconectada". Esta diferença na leitura de ferramenta indica quanto da voltagem de saída de ferramenta oscila quando a condutividade de formação muda de 0 ao valor calibrado. Para realizar a calibração, o sistema de ferramenta pode ser orientado normal ao

solo na medida que isto leva a mais consistência em medições e aparentemente torna seus sistemas transversais menos sensíveis em quaisquer correntes de ruído residual que talvez circulem na superfície da Terra no lugar de medição (maquinaria, estações de rádio, etc.).

5 Depois que o coeficiente de transferência de ferramenta foi determinado, as leituras de ferramenta enquanto o circuito de calibrador não é carregado refletem condutividade ambiental e, em particular, condutividade do solo. Estes dados têm que ser conhecidos e armazenados para processamento adicional.

10 A última etapa na calibração é a verificação da simetria de ferramenta e imunidade para correntes axiais. A simetria de ferramenta total assume que o mesmo sistema lê os mesmos valores da condutividade de “solo” ou ambiental enquanto sua direção de medição aponta para o solo ou a partir do solo. Para estes propósitos, a ferramenta é rodada em torno de
15 seu eixo longitudinal em 180°. A ausência de tal “sensibilidade de direção” indicaria funcionamento de ferramenta normal e asseguraria a simetria respectiva enquanto opera no furo de poço.

 Para verificação das correntes axiais de supressão – um teste de BCS modificado pode ser rodado com o curto removido na alimentação
20 direta. Assim, conectar e desconectar o BCS na ferramenta deve resultar em diferencia mínima absoluta em leituras que indicariam a operação apropriada no poço sem desvio que depende da formação nos dados de ferramenta. Este teste de BCS modificado poderia ser rodado como descrito, ou, para reduzir o tempo de calibração, realizado direito depois que o coeficiente de
25 transferência é determinado.

 Voltando agora para a figura 5, uma disposição do circuito de alinhamento é discutida. É mostrado um circuito de alinhamento 501 que circunda um sistema caracterizado pela bobina de transmissor 504 direcionada ao longo de uma direção X (T_x) e a bobina de receptor 508 direcionada
30 ao longo da direção X (R_x). A bobina de neutralização B_x 506 é também mostrada. Este sistema é indicado como XX, usando uma nomenclatura em que a primeira letra significa a direção de orientação da bobina de transmis-

sor e a última letra significa a direção de orientação da bobina de receptor. Esta nomenclatura é em geral usada aqui. Os sistemas XX e YY na ferramenta de múltiplos componentes são idealmente alinhados em 90° uma da outra. Quando este alinhamento não é satisfeito, a resposta dos componentes cruzados (XY, YX) são afetados por parte da leitura do componente principal relacionado. O método de medição de alinhamento da presente invenção é baseado em analisar a saída do sistema de componente transversal quando a ferramenta é rodada dentro de um circuito de alinhamento.

O circuito de alinhamento 501 é um circuito estacionário, se estendendo de modo que o eixo longitudinal do anel e o eixo longitudinal da ferramenta de registro de poço são substancialmente alinhados. Suas dimensões são tais que para obter acoplamento indutivo substancial com o transmissor bem como o receptor de ambos os sistemas XX e YY. O calibrador de "caixa" longo da figura 4 é usado para calibração realizada dos sistemas horizontais. Uma análise detalhada dos sinais é dada posteriormente neste documento.

A figura 6 ilustra uma montagem de um circuito de alinhamento usável para alinhar sistemas ZZ em um dispositivo de teste. O transmissor TZ 601, bobina de neutralização BZ 603 e receptor RZ 605 são dispostos ao longo do tubo de alimentação direta 615 e ter um eixo longitudinal comum. O circuito de alinhamento 610 é substancialmente coaxial com o receptor RZ 605 e substancialmente centrado em RZ.

A calibração de sistema de componente transversal é discutida a seguir. A figura 7 ilustra uma modalidade para calibração de um sistema XY usando uma caixa de calibração. O transmissor 701 e a bobina de neutralização 703 são dispostos ao longo do tubo de alimentação direta orientado para produzir um momento magnético em uma direção X. O receptor 705 está disposto ao longo do mesmo tubo de alimentação direta tendo uma orientação de modo a receber componentes de um momento magnético na direção Y. A caixa de alinhamento 710 está disposta a um ângulo de 45° de modo a ser orientado na metade do caminho entre na direção X e a direção Y.

A figura 8 ilustra uma modalidade alternativa para alinhar um sistema XY. A caixa de alinhamento 815 está localizada em TX 801, e a caixa de alinhamento 810 é posicionada no receptor de componente transversal RXY 805. Ambas as caixas de alinhamento são orientadas ao longo da mesma direção que seu transmissor/receptor respectivo. Um fio 820 acopla eletricamente a caixa de alinhamento 810 e caixa de alinhamento 815. (Nesta caixa de configuração 815 recebe o sinal da bobina de transmissor, a voltagem induzida através de seu enrolamento produz corrente fluindo através do enrolamento de ambas as caixas e impedância de carga. Enquanto passa através do enrolamento de 810, esta corrente gera campo que pe captado por receptor de componente transversal).

A figura 9 ilustra uma montagem para orientação do sistema de componente transversal XZ. O transmissor TX 901 e a bobina de neutralização BX 903 são dispostos ai longo do tubo de alimentação direta orientado de modo a produzir um momento magnético ao longo de uma direção X. O receptor RZ 905 é disposto ao longo do tubo de alimentação direta e orientado de modo a ser receptivo a componentes Z de momentos magnéticos. A caixa de alinhamento 920 pode ser posicionada centralmente entre o transmissor X principal e o receptor de componente transversal Z 905 e inclinado 45° com respeito ao eixo longitudinal da ferramenta 910. A montagem da figura 8 mostra pequenos sinais durante a calibração de sistema XZ. Este sinal tende a mostrar uma alta sensibilidade ao ângulo.

A figura 10 ilustra uma modalidade alternada para alinhar o sistema de componente transversal XZ. O transmissor TX 1001 e a bobina de neutralização BX 1003 são dispostos ao longo do tubo de alimentação direta orientado de modo a produzir um momento magnético ao longo de uma direção X. O receptor RZ 1005 está disposto e orientado de modo a ser receptivo aos componentes Z dos momentos magnéticos. A caixa de alinhamento 1010 é centrada no transmissor TX 1001, e o circuito de alinhamento 1015 é coaxial com o receptor RZ 1005. Um fio 1020 acopla eletricamente a caixa de alinhamento 1010 e o circuito de alinhamento 1015. Em contraste à montagem da Figura 10, a calibração usando dois dispositivos de alinhamento

mostra um grande sinal para a calibração de sistema de XZ.

A seguir será discutido em detalhe o uso da caixa de alinhamento para estabelecer a orientação da bobina. Quando se examina um sistema de componente transversal, a resposta XY ou YX obtida rodando a ferramenta dentro do circuito de alinhamento tem um cruzamento zero cada vez que tanto uma bobina de transmissor ou de receptor é perpendicular ao plano do circuito. Qualquer que seja a bobina (de transmissor ou receptor) é substancialmente alinhada com o circuito (fechado no mesmo plano) experimenta um acoplamento máximo com o circuito de alinhamento. Quando a posição da bobina alinhada é variada em torno do ponto de alinhamento com o circuito de alinhamento, a resposta de acoplamento entre eles sofre uma mudança lenta que corresponde com a variação. A bobina não alinhada experimenta um acoplamento mínimo com o circuito de alinhamento. Quando a posição da bobina não alinhada é variada em torno deste ponto de acoplamento mínimo, o acoplamento experimenta uma mudança abrupta. O acoplamento se torna zero quando a bobina não alinhada obtém perpendicularidade com o circuito de alinhamento. Um profissional na técnica reconheceria que os cruzamentos zero da resposta de acoplamento são significativamente afetados pela bobina que está em ângulo reto com o circuito de alinhamento, independente de se a bobina perpendicular é um receptor ou um transmissor. A bobina substancialmente alinhada tem pouco ou nenhum papel na produção de um cruzamento zero. O ângulo entre os cruzamentos zero sucessivos desse modo representa um ângulo de alinhamento entre as duas bobinas relacionadas.

Matematicamente, o acoplamento indutivo entre duas bobinas se assemelha a uma função de co-seno do ângulo entre elas. Assim, o sistema de resposta de acoplamento de bobinas feito por um sistema alinhado de componentes transversais e um circuito de alinhamento é dado pela expressão seguinte:

$$R(\phi) = K \cdot \cos(\phi) \cdot \cos\left(\phi - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1)$$

Aplicando identidades trigonométricas, a Equação (1) pode ser simplificada para

$$R(\phi) = K \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\phi) \quad (2)$$

e desde que

$$\sin(\phi) \cdot \cos(\phi) = \frac{1}{2} \sin(2 \cdot \phi) \quad (3)$$

segue que

$$5 \quad R(\phi) = K \cdot \frac{1}{2} \sin(2 \cdot \phi) \quad (4)$$

A Equação (4) ilustra que existem dois ciclos de variação para cada ciclo de rotação de ferramenta.

Considerando um ângulo de desalinhamento β entre o transmissor e receptor, a função de resposta pode agora ser expressa como:

$$10 \quad R(\phi, \beta) = K \cdot \cos(\phi) \cdot \cos\left(\phi - \frac{\pi}{2} + \beta\right) \quad (5)$$

onde cada função de co-seno caracteriza a resposta das bobinas de componente transversal individuais. É fácil ver que:

$$R(\phi, \beta) = 0 \quad (6)$$

quando

$$15 \quad \phi = n \cdot \frac{\pi}{2}$$

ou quando

$$\phi - \frac{\pi}{2} + \beta = n \cdot \frac{\pi}{2} \quad \text{com } n = \pm 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

De acordo com a equação (7), o ângulo entre os cruzamentos zero sucessivos representa o ângulo de alinhamento dentre as bobinas de componente transversal. Uma abordagem gráfica intuitiva pode portanto ser usada para medir o ângulo de desalinhamento entre transmissor e receptor.

Alternativamente, o ângulo de desalinhamento pode ser obtido simplesmente usando uma função de regressão trigonométrica para analisar a resposta do sistema. Aplicando identidades trigonométricas na Equação

25 (5), a resposta do sistema de desalinhamento pode ser escrita como:

$$\begin{aligned} R(\phi, \beta) &= K \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\beta) + K \cdot \cos^2(\phi) \cdot \sin(\beta) \\ R(\phi, \beta) &= K \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin(2 \cdot \phi) \cdot \cos(\beta) + K \cdot \cos^2(\phi) \cdot \sin(\beta) \\ R(\phi, \beta) &= \frac{K}{2} \cdot \sin(2 \cdot \phi + \beta) + \frac{K}{2} \cdot \sin(\beta) \end{aligned} \quad (8)$$

A última expressão na equação (8) indica que uma representação gráfica da

resposta de acoplamento do sistema de componente transversal desalinha-
do assemelha-se a uma função senoidal. O período deste senóide se iguala
a 180° e tem desvios na abscissa e na ordenada. O desvio na abscissa é β ,
e o desvio na ordenada é $(K/2)\text{sen}(\beta)$. Também, a resposta de acoplamento
5 é da forma $A \text{sen}(x+B)+C$, onde $A = K/2$, $B = \beta$ e $C = (K/2) \text{sen}(\beta)$. O coefi-
ciente B obtido com tal ajuste representa o ângulo de desalinhamento. A res-
posta de componente transversal pode assim ser ajustada para esta curva.

A sensibilidade para deslocamento possível ao longo do eixo
longitudinal da ferramenta ou verticalmente pode ser analisada pelas mu-
danças no produto $M = M_{T-C}M_{C-R}$, onde M_{T-C} é a indutância mútua entre o
10 transmissor e as bobinas de alinhamento, e M_{C-R} é a indutância mútua entre
o alinhamento e as bobinas de receptor. A Tabela 1 ilustra as indutâncias
mútuas que resultam do desalinhamento ou deslocamento de uma bobina de
alinhamento na direção horizontal (longitudinalmente). Existe em geral uma
15 flexibilidade de 2,54 cm sem afetar substancialmente a resposta de indução.

Tabela 1

Deslocamento de cali- brador (cm(polegada))	M_{T-C} (microHenry)	M_{C-R} (microHenry)	M (μH) ²
10,16 (4)	13,348	16,700	222,912
5,08 (2)	13,409	13,580	182,094
2,54 (1)	13,443	13,521	181,763
1,90 (3/4)	13,452	13,510	181,736
1,27 (1/2)	13,461	13,499	181,710
0 (0)	13,479	13,479	181,683
-1,27 (-1/2)	13,499	13,461	181,710
-1,90 (-3/4)	13,510	13,452	181,736
-2,54 (-1)	13,521	13,443	181,763
-5,08 (-2)	13,580	13,409	182,094
-10,16 (-4)	16,700	13,348	222,912

A Tabela 2 mostra os efeitos de desalinhamento na direção ver-
tical. Um desalinhamento que excede 0,79 cm produz um erro maior que
0,22%. Assim o desalinhamento vertical tem um efeito maior na resposta de

indução que o desalinhamento horizontal.

Tabela 2

Deslocamento de calibrador (cm(polegada))	M_{T-C} (microHenry)	M_{C-R} (microHenry)	M (μH) ²	%
0 (0)	13,479	13,479	181,683	0
0,47 (3/16)	13,474	13,474	181,549	0,074
0,79 (5/16)	13,464	13,464	181,279	0,22
1,11 (7/16)	13,449	13,449	180,876	0,44

Para posicionar apropriadamente os sistemas, a bobina de transmissor de um sistema é movida na direção normal ao solo. Este movimento de bobina é realizado até que um mínimo absoluto na resposta de acoplamento seja determinado. No ajuste, a estrutura de bobina de transmissor é fixada dentro do mandril. Depois que o primeiro sistema horizontal foi sintonizado, a ferramenta é rodada em seu eixo e um procedimento similar é realizado com o outro sistema horizontal. Em geral, a sintonia similar pode ser desenvolvida por um instrumento que possui uma pluralidade de sistemas transversos e inclinados. Depois do equilíbrio de todos os sistemas foi obtido, o curto de isolamento de ferramenta é removido e o mandril é coberto com a luva de pressão não condutiva para proteger as bobinas de indução de ser diretamente exposta a fluidos de furo de sondagem.

Uma verificação final do equilíbrio da bobina e consistência de calibração é feita. A calibração de um coeficiente de transferência é realizada uma vez que o instrumento é inserido dentro do calibrador no ambiente de calibração de condutividade baixa. Uma carga magnética é introduzida, adequada para calibrar o sistema, de modo que suas leituras de sinal são idênticas aos valores a serem lidos enquanto se registra uma formação homogênea. A carga magnética é introduzida usando o calibrador acima referido usando parâmetros eletromagnéticos e parâmetros de acoplamento conhecidos. A carga de ferramenta pode ser obtida conectando a impedância selecionada no terminal de um circuito de calibrador normalmente aberto. Assim, o circuito aberto representa uma formação infinitamente resistiva. Uma vez em curto, o circuito fechado representa uma formação quase infini-

tamente condutiva (limitada somente pela impedância interna dos fios do circuito calibrado). Portanto, uma carga de circuito de calibração pode ser escolhida efetivamente representando valores de condutividade de uma dada formação.

5 Está implícito no controle e processamento de dados o uso de um programa de computador em um meio legível por máquina adequado que permite que o processador realize o controle e processamento. O meio legível por máquina pode incluir ROMs, EPROMs, EEPROMs,. Memórias Flash e discos óticos.

10 Enquanto a descrição precedente está direcionada para as modalidades preferidas da invenção, várias modificações serão evidentes para aqueles versados na técnica. É pretendido que todas as variações dentro do escopo e espírito das reivindicações anexas sejam abrangidas pela descrição precedente.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para preparar uma ferramenta de registro de indução de múltiplos componentes tendo uma pluralidade de bobinas transmissoras e uma pluralidade de bobinas receptoras, o método compreendendo:

5 (a) posicionar a ferramenta de registro em uma área de calibração substancialmente livre dos componentes capazes de interferir com os campos magnético e elétrico produzidos pela dita ferramenta;

 (b) acoplar um primeiro alojamento condutor da ferramenta com um segundo alojamento condutor da ferramenta através de um simulador de condutividade de furo de sondagem (BCS) tendo uma impedância similar àquela de um ambiente de furo de sondagem;

 (c) ativar uma primeira bobina da pluralidade de bobinas transmissoras e medir um sinal em uma primeira bobina da pluralidade de bobinas receptoras; e

15 (d) mover a primeira bobina da pluralidade de bobinas transmissoras com relação a um tubo de passagem condutor entre o primeiro alojamento e o segundo alojamento para reduzir uma magnitude do sinal.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo:

20 mover a primeira bobina da pluralidade de bobinas receptoras com relação ao tubo de passagem até que a magnitude do sinal é substancialmente igual a zero.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo posicionar a primeira bobina da pluralidade de bobinas receptoras em uma posição descentrada na ferramenta de registro antes da etapa (d).

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo orientar a ferramenta de registro com seu eixo longitudinal substancialmente paralelo ao solo.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a primeira bobina da pluralidade de bobinas transmissoras tem um eixo que é um de (i) substancialmente paralelo a um eixo longitudinal da ferramenta, e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a primeira bobina da pluralidade de bobinas receptoras tem um eixo que é um de (i) substancialmente paralelo a um eixo longitudinal da ferramenta, e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta.

5 7. Método, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo:

(i) rodar a ferramenta em torno de um eixo longitudinal da ferramenta;

10 (ii) ativar uma segunda bobina da pluralidade de bobinas transmissoras e medir um sinal adicional em uma segunda bobina da pluralidade de bobinas receptoras; e

(iii) mover a segunda bobina da pluralidade de bobinas transmissoras com respeito ao tubo de passagem para reduzir uma magnitude do sinal adicional.

15 8. Método, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo:

(i) acoplar magneticamente a ferramenta em um calibrador;

(ii) ativar a primeira bobina da pluralidade de bobinas transmissoras;

20 (iii) determinar a partir de um sinal recebido em uma bobina específica da pluralidade de bobinas receptoras uma função de transferência entre a bobina específica e a primeira bobina da pluralidade de bobinas transmissoras.

25 9. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que a ferramenta é posicionada dentro do calibrador.

10. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o movimento é em uma direção selecionada de (i) substancialmente paralela a um eixo longitudinal da ferramenta, e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta.

30 11. Aparelho para avaliar o desempenho de uma ferramenta de registro de indução de múltiplos componentes tendo uma pluralidade de bobinas transmissoras e uma pluralidade de bobinas receptoras, a ferramenta

sendo posicionada em uma área de calibração substancialmente livre de componentes capazes de interferir com campos magnético e elétrico produzidos pela dita ferramenta, o aparelho compreendendo:

- (a) um simulador de condutividade de furo de sondagem (BCS) tendo uma impedância similar àquela de um ambiente de furo de sondagem, o BCS acoplando um primeiro alojamento da ferramenta com um segundo alojamento da ferramenta;
 - (b) um processador configurado para ativar uma primeira bobina da pluralidade de bobinas transmissoras;
 - (c) uma primeira bobina da pluralidade de bobinas receptoras configuradas para fornecer um sinal responsivo à ativação da primeira bobina; e
 - (d) um dispositivo configurado para:
 - mover a primeira bobina da pluralidade de bobinas transmissoras com relação à primeira bobina da pluralidade de bobinas receptoras para reduzir uma magnitude do sinal.
12. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, em que o dispositivo é ainda configurado para mover a primeira bobina da pluralidade de bobinas receptoras com relação ao tubo de passagem condutor até que a magnitude do sinal é substancialmente zero.
13. Método, de acordo com a reivindicação 11, em que o dispositivo é ainda configurado para posicionar a primeira bobina da pluralidade de bobinas receptoras em uma posição descentrada na ferramenta de registro.
14. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, em que a primeira bobina da pluralidade de transmissores tem um eixo que é um de (i) substancialmente paralelo a um eixo longitudinal da ferramenta, e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta.
15. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, em que a primeira bobina da pluralidade de receptores tem um eixo que é um de (i) substancialmente paralelo a um eixo longitudinal da ferramenta, e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta.

16. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, ainda compreendendo um calibrador e em que:

(i) a ferramenta de registro é magneticamente acoplada com o calibrador, e

5 (ii) o processador é ainda configurado para determinar a partir do sinal uma função de transferência entre a primeira bobina da pluralidade de transmissores e a primeira bobina da pluralidade de receptores.

17. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, em que a ferramenta de registro é posicionado dentro do calibrador.

10 18. Aparelho, de acordo com a reivindicação 11, em que o dispositivo é configurado para produzir o movimento em uma direção selecionada de (i) substancialmente paralela a um eixo longitudinal da ferramenta, e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo longitudinal da ferramenta.

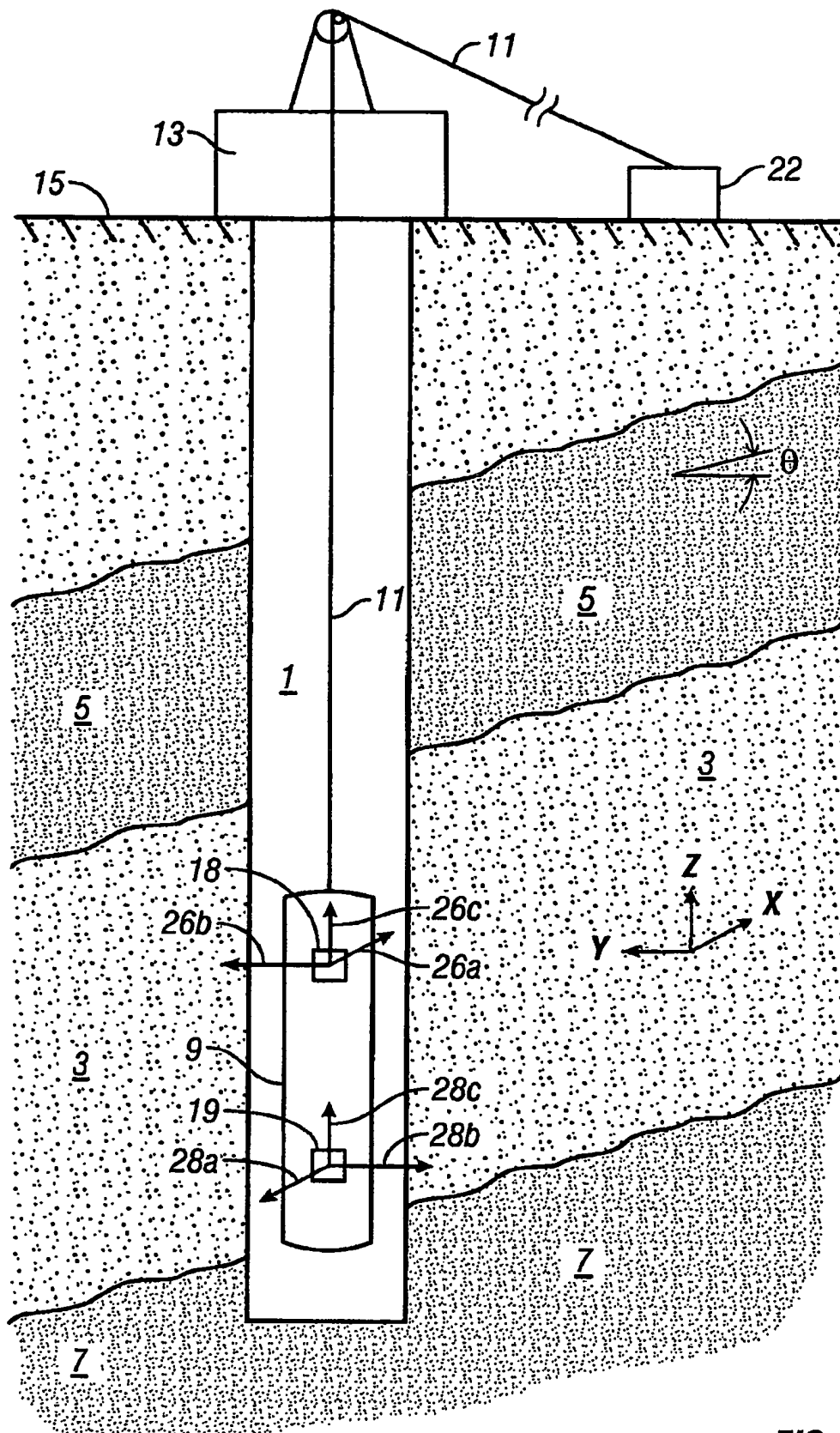
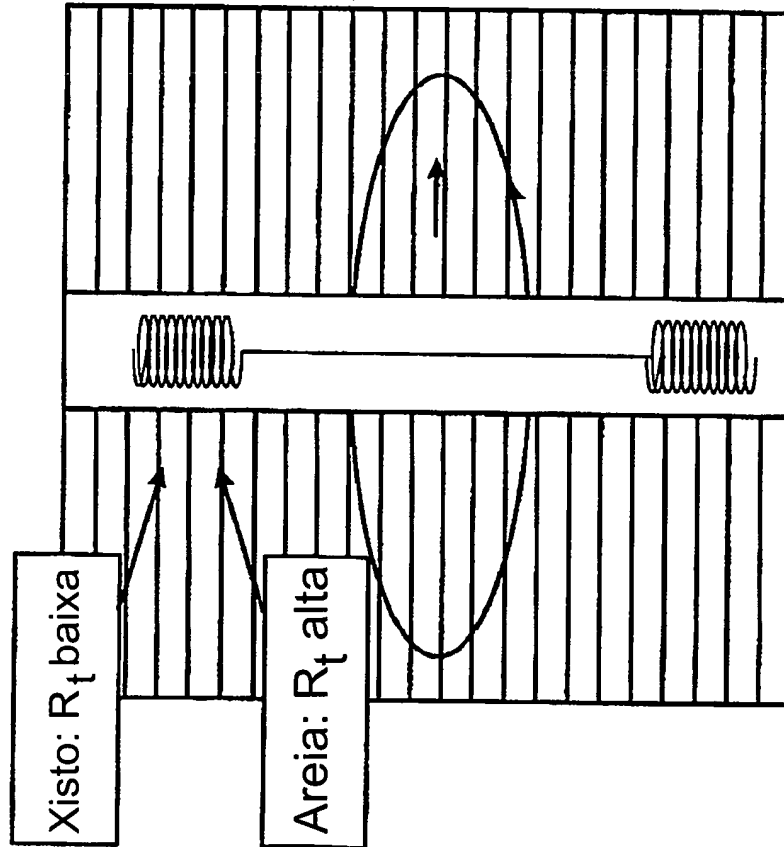


FIG. 1
(Técnica Anterior)

Princípio de inclinação da operação

Modo convencional
(Ferramenta existente)



Modo adicional
(Nova ferramenta)

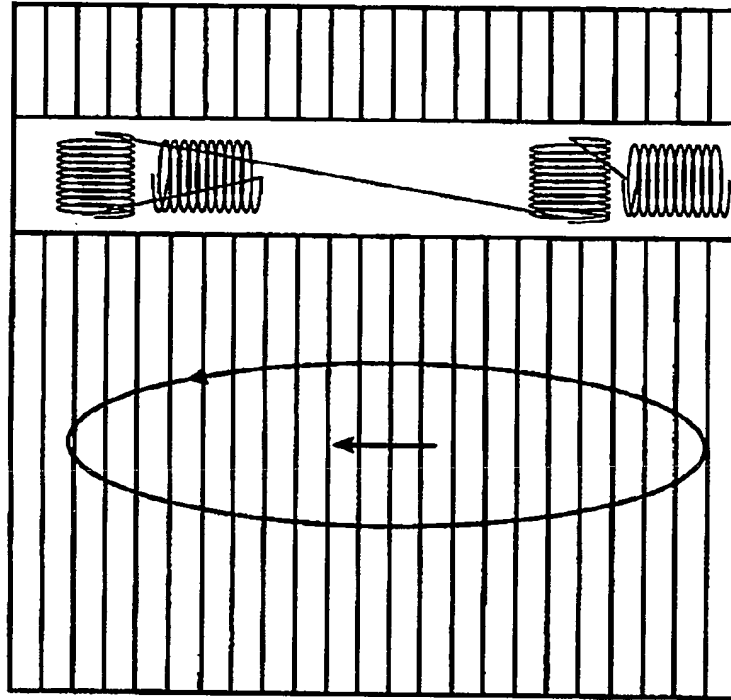
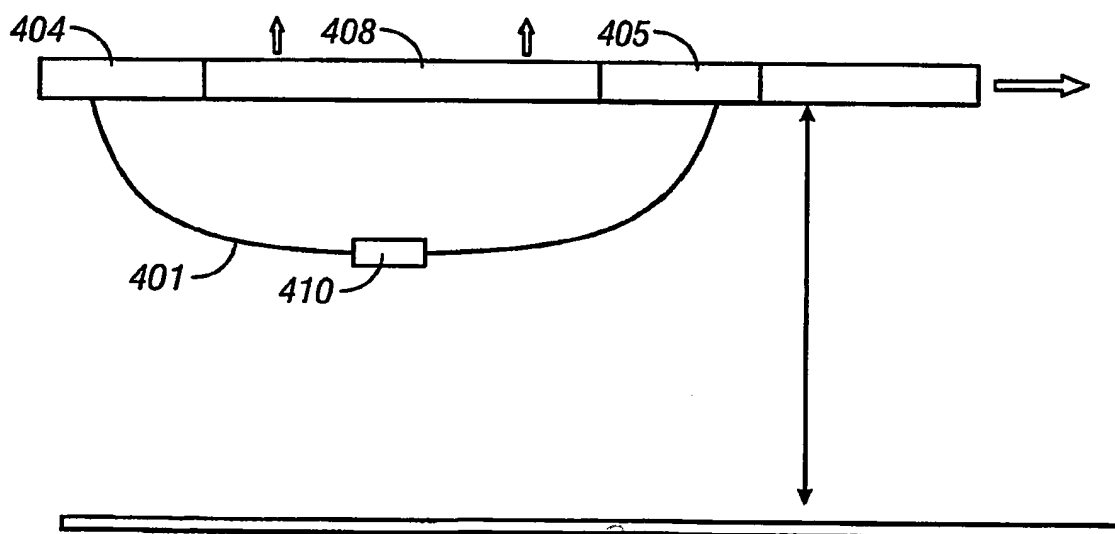
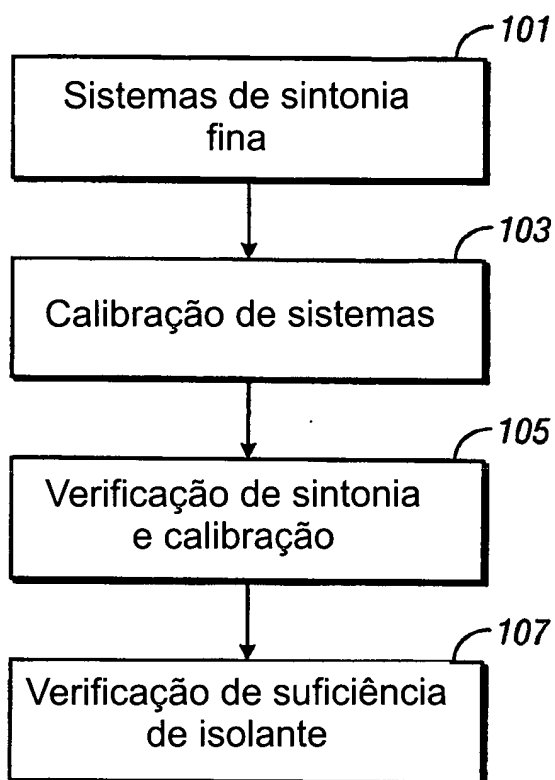


FIG. 2A

(Técnica Anterior)

FIG. 2B

(Técnica Anterior)

FIG. 3

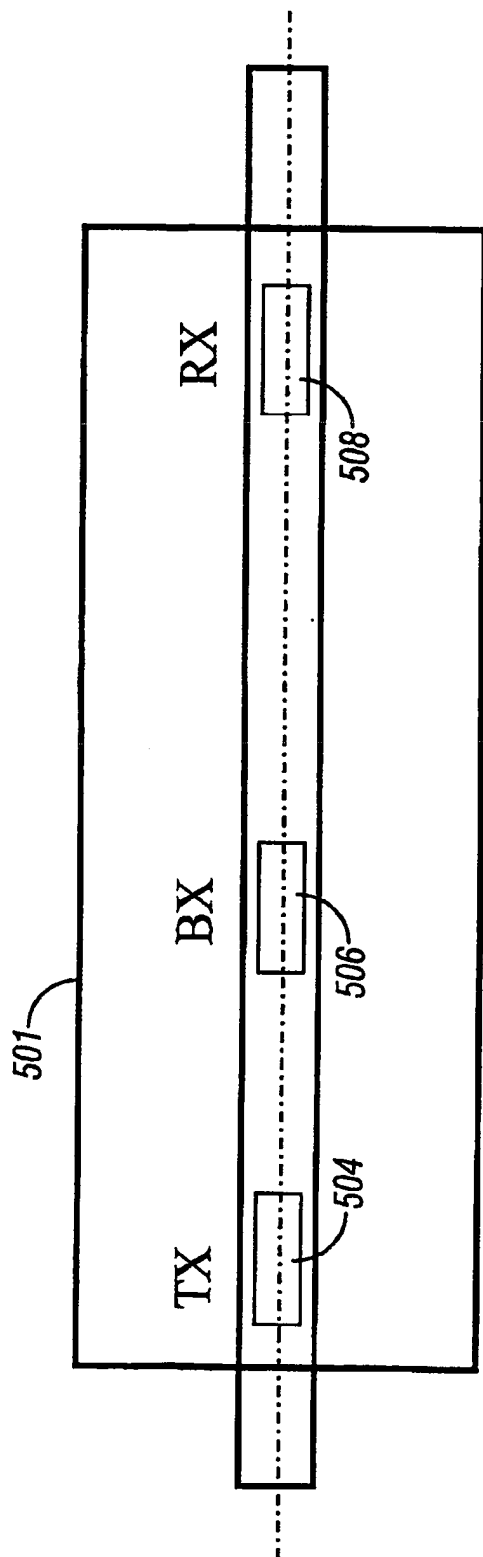


FIG. 5

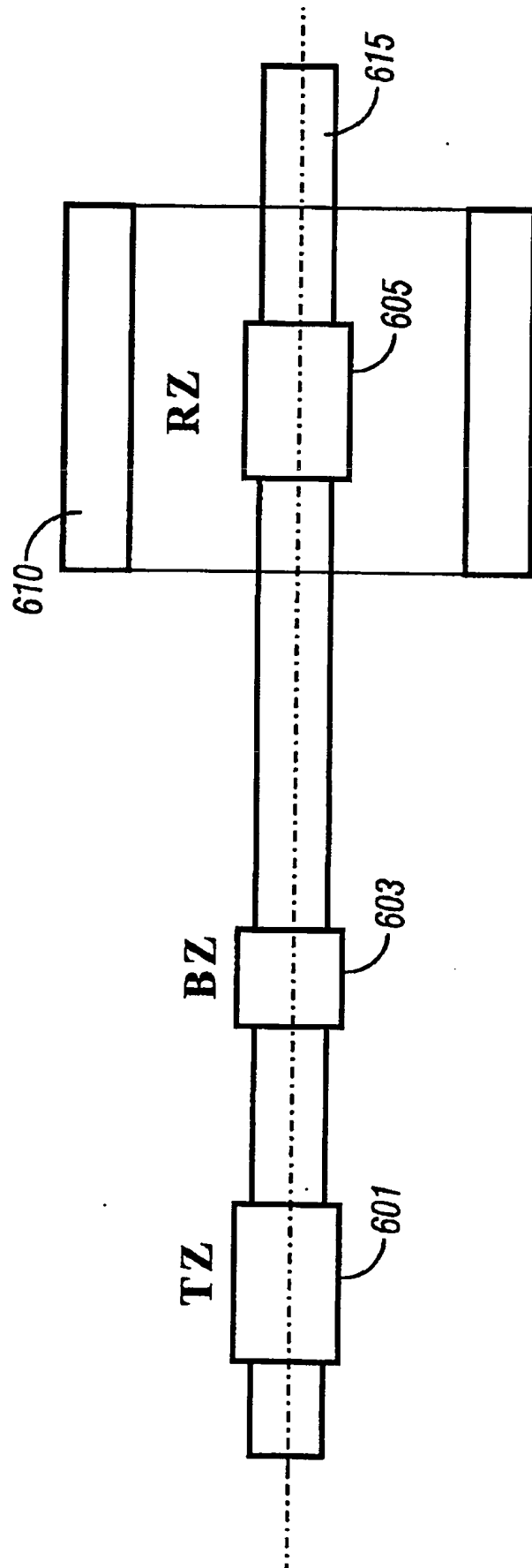


FIG. 6

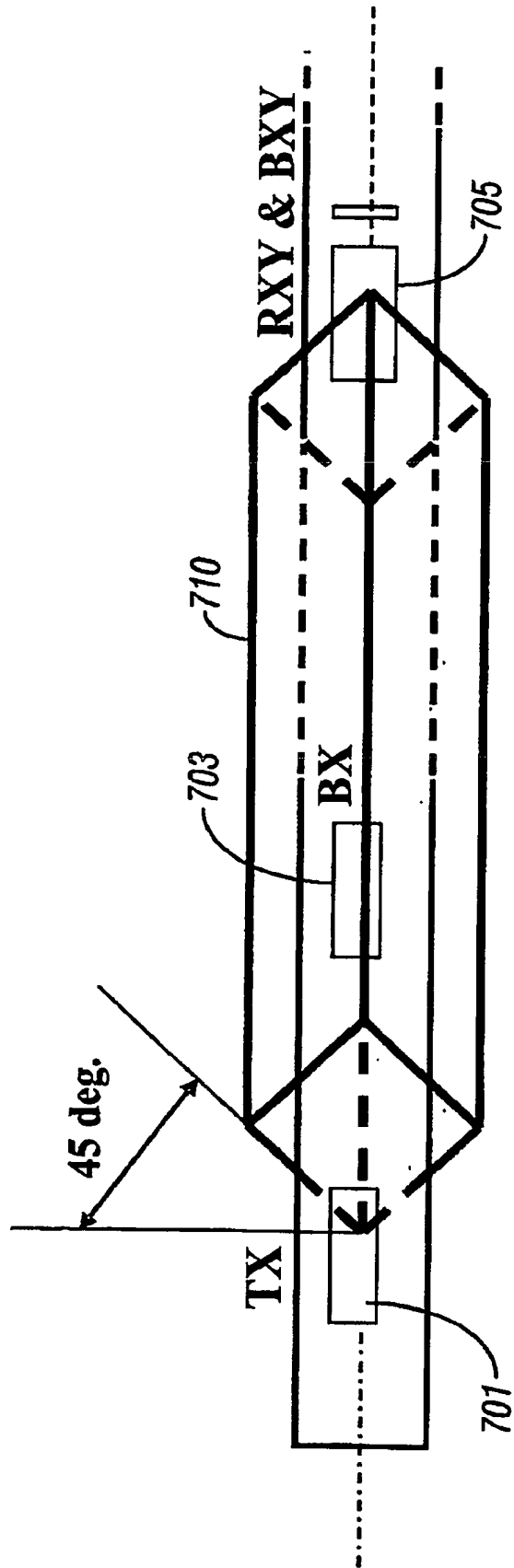


FIG. 7

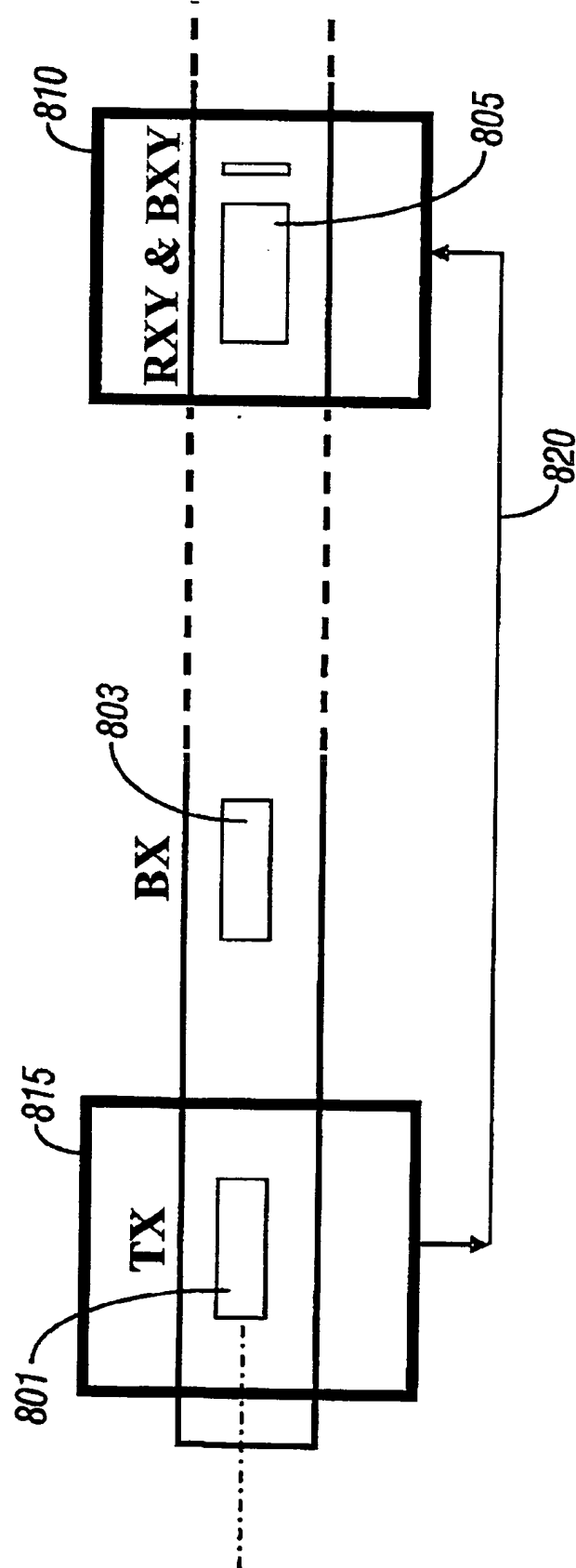


FIG. 8

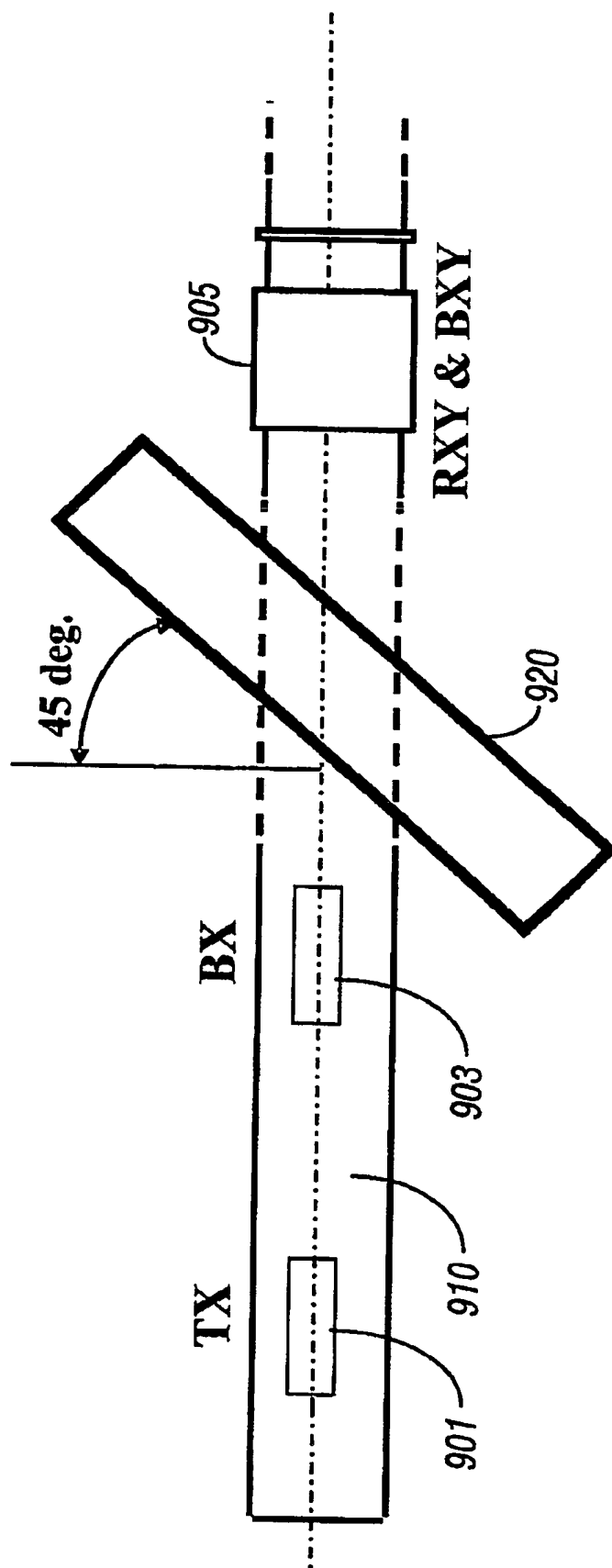


FIG. 9

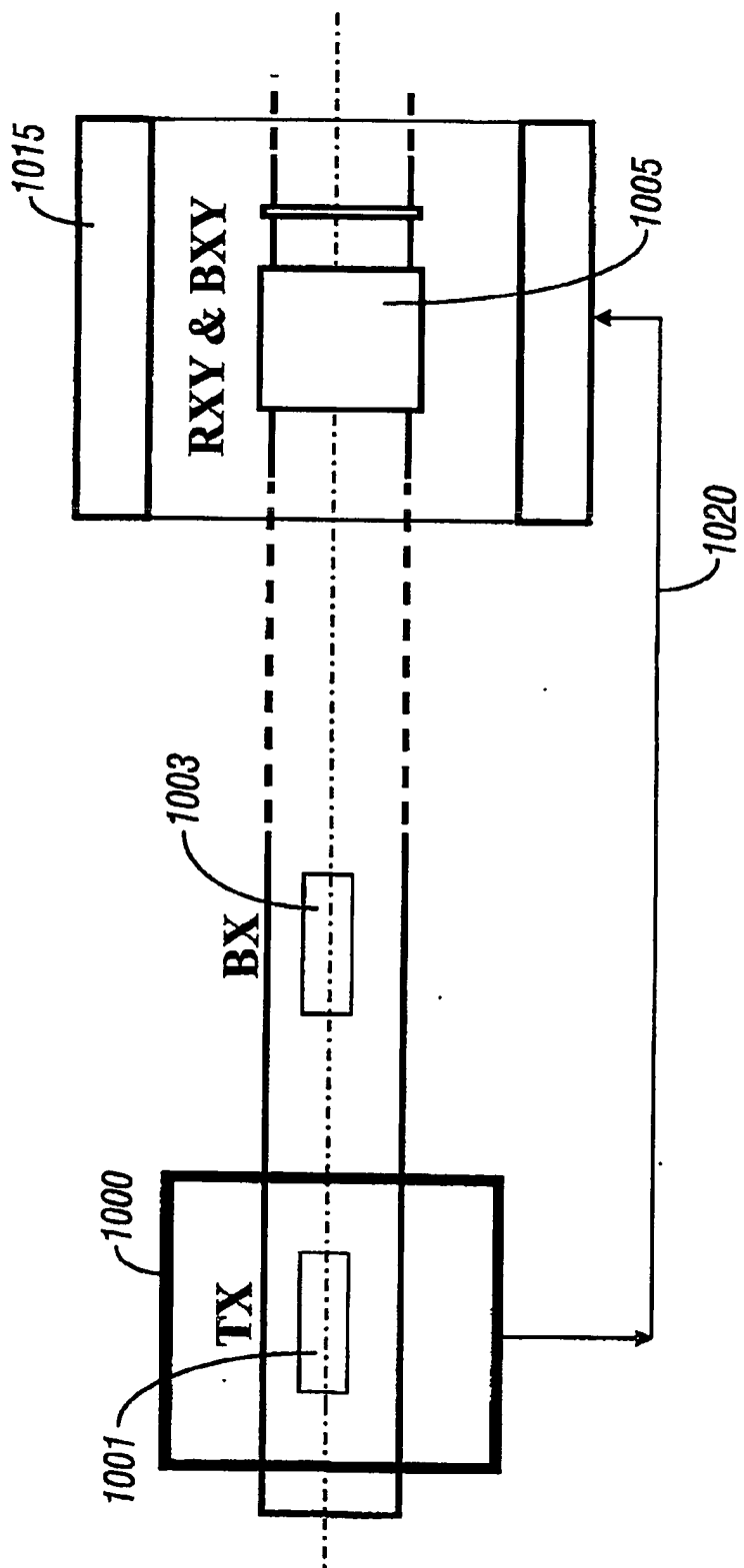


FIG. 10

RESUMO

Patente de Invenção: **"VERIFICAÇÃO DE SIMULADOR DE CONDUTIVIDADE DE FURO DE SONDAGEM E EQUILÍBRIO DE BOBINA TRANSVERSA"**.

- 5 A calibração das séries de uma ferramenta de registro de indução de múltiplos componentes é obtida posicionando a ferramenta horizontalmente acima do solo. Os alojamentos superior e inferior da ferramenta são conectados por um simulador de condutividade de furo de sondagem que tem a resistência comparável àquela de um furo de sondagem. O posicionamento axial e radial das bobinas transmissoras é feito monitorando saídas
- 10 em bobinas receptoras para obter um mínimo.