

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

(21) **PI0707326-7 A2**

(22) Data de Depósito: 12/01/2007
(43) Data da Publicação: 03/05/2011
(RPI 2104)



(51) *Int.Cl.:*
G01R 35/00

(54) Título: **CALIBRADOR DE DOIS LAÇOS**

(30) Prioridade Unionista: 26/01/2006 US 11/340,785

(73) Titular(es): Baker Hughes Incorporated

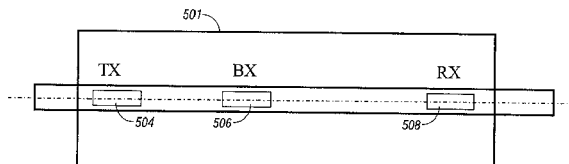
(72) Inventor(es): Luis M. Pelegri, Michael S. Crosskno, Stanislav
W. Forgang

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

(86) Pedido Internacional: PCT US2007000977 de 12/01/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/089417 de 09/08/2007

(57) Resumo: CALIBRADOR DE DOIS LAÇOS. Desalinhamento das bobinas de transmissor e de receptor de uma ferramenta de perfilagem de indução é determinado pelo posicionamento da ferramenta de perfilagem com uma bobina circundando axialmente a bobina transmissora e/ou a bobina receptora e ativação do transmissor em uma pluralidade de ângulos rotacionais.





PI0707326-7

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**CALIBRA-
DOR DE DOIS LAÇOS**".

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

1. Campo da Invenção

5 A presente invenção está relacionada ao campo de desenho de aparelho no campo da exploração de óleo. Em particular, a presente invenção descreve um método para calibrar dispositivos de perfilagem 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 perfilagem de poço de resistividade de indução eletromagnética são bem conhecidos na técnica. Os instrumentos de perfilagem de poço de resistividade de indução eletromagnética são usados para determinar a condutividade elétrica e seu inverso, a resistividade, de forma-
15 ções de terra penetradas por um furo de sondagem. A condutividade da formação tem sido determinada com base em resultados de medição do campo magnético de correntes parasitas que o instrumento induz na formação contígua ao furo de sondagem. A condutividade elétrica é usada para, entre outras razões, inferir o conteúdo de fluido das formações de terra.

20 Em geral, quando usando uma ferramenta de perfilagem de indução convencional com transmissores e receptores (bobinas de indução) orientados apenas ao longo do eixo geométrico do furo de sondagem, as zonas portadoras de hidrocarbonetos são difíceis de detectar quando elas ocorrem em reservatórios laminados ou de múltiplas camadas. Esses reser-
25 vatórios, usualmente, consistem de camadas finas alternadas de xisto e areia e, freqüentemente, as camadas são tão finas que, devido à resolução insuficiente da ferramenta de perfilagem convencional, elas não podem ser detectadas individualmente. Nesse caso, a condutividade média da formação é avaliada.

30 Técnicas convencionais de perfilagem de poço de indução empregam bobinas enroladas em um mandril de isolamento. Uma ou mais bobinas de transmissor são energizadas por uma corrente alternada. O campo

magnético oscilante produzido por essa disposição resulta na indução de correntes nas formações que são quase proporcionais à condutividade das formações. Essas correntes, por sua vez, contribuem para a tensão induzida em uma ou mais bobinas de receptor. Por meio da seleção apenas do componente de tensão que está em fase com a corrente do transmissor, um sinal é obtido que é aproximadamente proporcional à condutividade da formação. Em aparelho de perfilagem de indução convencional, a bobina básica do transmissor e a bobina do receptor têm eixos geométricos que são alinhados com o eixo geométrico longitudinal do dispositivo de perfilagem de poço. Essa disposição tende a induzir laços de corrente secundária na formação que são concêntricas com as bobinas de transmissão e de recepção verticalmente orientadas. As medições de condutividade resultantes são indicativas da condutividade (ou resistividade) horizontal das formações circundantes. Há, porém, várias formações encontradas em perfilagem de poço, que tem uma condutividade que é anisotrópica. A anisotropia resulta da maneira em que leitos de formação foram depositados pela natureza. Por exemplo, a "anisotropia uniaxial" é caracterizada por uma diferença entre a condutividade horizontal, em um plano paralelo ao plano de estratificação e a condutividade vertical, em uma direção perpendicular ao plano de estratificação. Quando não há inclinação de estratificação, 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. Dispositivos de perfilagem de indução convencional, que tendem a ser sensíveis apenas à condutividade horizontal das formações, não proporcionam uma medida de condutividade vertical ou de anisotropia.

Em ferramentas de perfilagem de indução transversal, a resposta de arranjos de bobinas transversais também é determinada por uma condutividade média, porém, a condutividade relativamente inferior de camadas de areia portadoras de hidrocarbonetos domina nesta estimativa. Em geral, o volume de xisto/ areia na formação pode ser determinado de medições de perfilagem de poço nuclear ou de raios gama. Então, uma combinação da ferramenta de perfilagem de indução convencional com transmissores e re-

ceptores orientados ao longo do eixo geométrico do poço e a ferramenta de perfilagem de indução transversal pode ser usada para determinar a condutividade de camadas individuais de xisto e areia.

5 Uma das dificuldades, se não a principal, na interpretação dos dados adquiridos por uma ferramenta de perfilagem de indução transversal está associada com a vulnerabilidade de sua resposta às condições do furo de sondagem. Entre essas condições está a presença de um fluido de poço condutor, bem como os efeitos da invasão de fluido no furo de sondagem.

10 Nos instrumentos de perfilagem de indução, a qualidade dos dados adquiridos depende da distribuição (condutividade) dos parâmetros eletromagnéticos da formação, em que os receptores de indução de ferramenta operam. Desse modo, no caso ideal, a ferramenta de perfilagem mede sinais magnéticos induzidos por correntes parasitas que circulam na formação. Variações na magnitude e na fase das correntes parasitas que ocorrem em
15 resposta às variações na condutividade da formação são refletidas como respectivas variações na tensão de saída de receptores. Nos instrumentos de indução convencionais, essas tensões de bobina de indução de receptor são condicionadas e, então, processadas usando detectores analógicos sensíveis à fase ou digitalizadas por conversores de digital para analógico e,
20 então, processadas com algoritmos de processamento de sinais. O processamento permite determinar a amplitude de tensão e fase do receptor com relação à forma de onda de campo magnético ou corrente de transmissor de indução.

Há poucas margens de *hardware* e limitações de *software* que
25 impactam um desempenho de ferramenta de perfilagem de indução transversal convencional e resultam em erros que aparecem nos dados adquiridos.

Os problemas gerais enfrentados são discutidos nas patentes norte-americanas nos. 6.734.675 e 6.586.939, para *Fanini e colaboradores*,
30 ambas tendo a mesma cessionária que o presente pedido e cujos conteúdos são aqui incorporados através de referência. A '939 de *Fanini* divulga uma ferramenta de perfilagem de indução transversa, tendo um transmissor e um

receptor para amostragem de furo descendente de propriedades de formação, a ferramenta tendo uma bobina de transmissor de bobina dividida protegida simétrica e uma bobina de neutralização interposta entre as bobinas de transmissor divididas, para reduzir o acoplamento do campo magnético variável em tempo do transmissor no receptor. A ferramenta proporciona proteção simétrica das bobinas e aterramento na extremidade do transmissor e receptor apenas para reduzir acoplamento de correntes induzidas no sinal recebido. A ferramenta proporciona um isolador entre componentes eletrônicos do receptor e o alojamento condutor de receptor tendo contato com fluido condutor do furo de poço, para reduzir corrente parasita que circula em um laço formado pelo alojamento superior, tubo de passagem, alojamento inferior e fluido de furo de poço adjacente ao alojamento ou mandril de sonda. Um laço de verificação interno é proporcionado para rastrear mudanças na corrente de transmissor no componente real e de quadratura do sinal de dados recebido.

A '939 de *Fanini* divulga uma ferramenta de perfilagem de indução transversa, tendo um transmissor e um receptor para amostragem de furo descendente de propriedades de formação, a ferramenta tendo uma bobina de transmissor de bobina dividida protegida simétrica e uma bobina de neutralização interposta entre as bobinas de transmissor divididas, para reduzir o acoplamento do campo magnético variável em tempo do transmissor no receptor. A ferramenta proporciona proteção simétrica das bobinas e aterramento na extremidade do transmissor e receptor apenas para reduzir acoplamento de correntes induzidas no sinal recebido. A ferramenta proporciona um isolador entre componentes eletrônicos do receptor e o alojamento condutor de receptor tendo contato com fluido condutor do furo de poço, para reduzir corrente parasita que circula em um laço formado pelo alojamento superior, tubo de passagem, alojamento inferior e fluido de furo de poço adjacente ao alojamento ou mandril de sonda. Um laço de verificação interno é proporcionado para rastrear mudanças na corrente de transmissor no componente real e de quadratura do sinal de dados recebido.

Sumário da Invenção

Uma modalidade da invenção é um aparelho para avaliação de uma ferramenta de perfilagem de indução para uso em um furo de sondagem. A ferramenta de perfilagem inclui uma fonte de corrente, que ativa uma bobina de transmissor na ferramenta de perfilagem e uma bobina de receptor espaçada axialmente da bobina de transmissor em que a bobina de receptor produz um sinal em resposta à ativação da bobina de transmissor. O aparelho inclui pelo menos um laço de condução que envolve axialmente a bobina de transmissor e/ ou a bobina de receptor. O sinal produzido pela bobina de receptor é indicativo de um desalinhamento entre a bobina de transmissor e a bobina de receptor. Um laço de condução único pode envolver a bobina de transmissor e a bobina de receptor. Dois laços de condução conectados eletricamente podem ser usados com um dos laços que envolvem a bobina de transmissor e o outro laço envolvendo a bobina de receptor. A bobina de transmissor pode ter um eixo geométrico substancialmente paralelo ou substancialmente ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem. A bobina de receptor pode ter um eixo geométrico substancialmente paralelo ou substancialmente ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem. O aparelho pode ainda incluir um suporte que gira a ferramenta de perfilagem através de uma pluralidade de ângulos com o transmissor sendo ativado em cada um dos ângulos e um processador que estima dos sinais em cada um dos ângulos rotacionais o ângulo de desalinhamento. O ângulo de desalinhamento pode ser estimado com base em um ângulo rotacional em que o sinal é substancialmente zero.

Outra modalidade da invenção é um método de avaliação de uma ferramenta de perfilagem de indução para uso em um furo de sondagem. Uma bobina de transmissor na ferramenta é ativada. Um sinal é proporcionado usando uma bobina de receptor em resposta à ativação da bobina de transmissor. Do sinal, um ângulo de desalinhamento entre a bobina de transmissor e a bobina de receptor. O método inclui o uso de pelo menos um laço de condução para envolver axialmente a bobina de transmissor e/ ou a bobina de receptor. O envolvimento pode ser feito pelo uso de um laço de condução único. O envolvimento pode ser feito pelo uso de um primeiro laço

para envolvimento da bobina de transmissor e de um segundo laço para envolvimento da bobina de receptor. A bobina de transmissor pode ter um eixo geométrico que é substancialmente paralelo ou ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta. A bobina de receptor pode ter um eixo geométrico que é substancialmente paralelo ou ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta. A ferramenta de perfilagem pode ser girada através de uma pluralidade de ângulos, com o transmissor sendo ativado em cada um dos ângulos e o ângulo de desalinhamento pode ser estimado a partir dos sinais em cada um dos ângulos. O ângulo de desalinhamento pode ser estimado de um ângulo em que o sinal é substancialmente zero.

Breve Descrição dos Desenhos

A presente invenção é melhor compreendida com referência às figuras anexas, em que numerais semelhantes se referem a elementos semelhantes e em que:

15 A figura 1 (técnica anterior) mostra, esquematicamente, um furo de poço que se estende em uma formação de terra laminada, furo de poço em que uma ferramenta de perfilagem de indução, como usado de acordo com a invenção, foi abaixada;

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

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

A figura 3 é um fluxograma global dos procedimentos da presente invenção;

25 A figura 4 ilustra um simulador de condutividade de furo de sondagem (BCS), usado na presente invenção;

A figura 5 ilustra um conjunto para calibração de diversos arranjos transversais em uma ferramenta de perfilagem;

30 A figura 6 ilustra um conjunto para calibração de arranjos longitudinais em uma ferramenta de perfilagem;

As figuras 7 – 8 ilustram conjuntos para calibração de arranjos de componentes transversais XY; e

As figuras 9 – 10 ilustram conjuntos para calibração de arranjos de componentes transversais XZ.

Descrição Detalhada da Invenção

A estrutura do instrumento proporcionada pela presente invenção permite estabilidade e precisão aumentadas em uma ferramenta de perfilagem de furo de poço de indução e suas capacidades operacionais, o que, por sua vez, resulta em melhor qualidade e utilidade de dados de furo de poço adquiridos durante perfilagem. As características da presente invenção são aplicáveis para aperfeiçoar a estrutura de uma maioria de ferramentas de indução conhecidas.

A invenção será agora descrita em mais detalhes e à guisa de exemplo com referência aos desenhos anexos. A figura 1 mostra, esquematicamente, um furo de poço 1 que se estende em uma formação de terra laminada, furo de poço em que uma ferramenta de perfilagem de indução, como usada de acordo com a presente invenção, foi abaixada. O furo de poço na figura 1 se estende em uma formação de terra que inclui uma camada de areia portadora de hidrocarbonetos 3, localizada entre uma camada superior de xisto 5 e uma condutividade maior do que a camada de areia portadora de hidrocarbonetos 3. Uma ferramenta de perfilagem de indução 9 usada na prática da invenção foi abaixada no furo de poço 1 via uma linha de fios elétricos 11 estendendo-se através de um preventor de explosão 13 (mostrado esquematicamente), localizado na superfície da terra 15. O equipamento de superfície 22 inclui um suprimento de energia elétrica para proporcionar energia elétrica para o conjunto de bobinas 18 e um processador de sinais para receber e processar sinais elétricos das bobinas de receptores 19. Alternativamente, o suprimento de energia e/ ou processadores de sinais estão localizados na ferramenta de perfilagem.

A orientação relativa do furo de poço 1 e da ferramenta de perfilagem 9 com relação às camadas 3, 5, 7 é determinada por dois ângulos, um dos quais θ , conforme mostrado na figura 1. Para determinação desses ângulos veja, por exemplo, a norte-americana 5999883 para *Gupta e colaboradores*. A ferramenta de perfilagem 9 é dotada de um conjunto de bobinas de

transmissor 18 e um conjunto de bobinas de receptor 19, cada um dos conjuntos de bobinas 18, 19 sendo conectado ao equipamento de superfície 22 via condutores adequados (não mostrados) estendendo-se ao longo da linha de fios elétricos 11.

5 Cada um dos conjuntos de bobinas 18 e 19 inclui três bobinas (não mostradas), as quais são dispostas de modo que o conjunto tem três momentos de dipolos magnéticos em direções mutuamente ortogonais, isto é, em direções x, y e z. O conjunto de três bobinas de bobinas de transmissor transmite T_x , T_y e T_z . A bobina de receptor recebe R_x , R_y e R_z mais os
10 componentes transversais, R_{xy} , R_{xz} e R_{zy} . Desse modo, o conjunto de bobinas 18 tem momentos de dipolos magnéticos 26a, 26b, 26c e o conjunto de bobinas 19 tem momentos de dipolos magnéticos 28a, 28b, 28c. Em uma modalidade, o conjunto de bobinas de transmissor 18 é isolado eletricamente do conjunto de bobinas de receptor 19. Em uma modalidade alternativa,
15 cada bobina no conjunto de bobinas de transmissor 18 é eletricamente isolada uma da outra e cada bobina no conjunto de bobinas de receptor 19 é eletricamente isolada uma da outra.

As bobinas com momentos de dipolos magnéticos 26a e 28a são bobinas transversais, isto é, elas são orientadas de modo que os momentos
20 de dipolos magnéticos são orientados perpendiculares ao eixo geométrico de furo de poço, pelo que a direção de momento de dipolo magnético 28a é oposta à direção de momento de dipolo magnético 26a. Além disso, os conjuntos de bobinas 18 e 19 são posicionados substancialmente ao longo do eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem 9.

25 Conforme mostrado na figura 2A, ferramentas de perfilagem de indução convencionais proporcionam uma bobina única de transmissor e de receptor que mede a resistividade na direção horizontal. No modo horizontal convencional, conforme mostrado na figura 2A, as resistividades de camadas adjacentes de areia de alta resistividade e xisto de baixa resistividade
30 aparecem em paralelo, desse modo, a medição de resistividade é dominada por xisto de baixa resistividade. Conforme mostrado nas figuras 1 e 2B, na presente invenção, uma bobina transversal é adicionada para medir a resis-

tividade na direção vertical. Na direção vertical, as resistividades da areia altamente resistiva e do xisto de baixa resistividade aparecem em série e, assim, a medição de resistividade vertical em série é dominada pela resistividade da areia altamente resistiva.

5 Para facilidade de referência, a operação normal da ferramenta 9, conforme mostrado nas figuras 1 e 2B, será descrita aqui depois apenas para as bobinas tendo momentos de dipolos na direção x, isto é, momentos de dipolos 26a e 28a. Durante operação normal, uma corrente alternada de uma frequência f_1 é fornecida pelo suprimento de energia elétrica do equipamento de superfície 22 ao 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 varrida através de uma faixa f_1 a f_2 . Esse campo magnético se estende na camada de areia 3 e induz um número de correntes parasitas locais na camada de areia 3. A magnitude das correntes parasitas locais é dependente de sua localização em relação 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 parasitas locais atuam como uma fonte indutora de novas correntes, que, mais uma vez, induzem novas correntes e assim por diante. As correntes induzidas na camada de areia 3 induzem um campo magnético de resposta na formação, o qual não está em fase com o campo magnético transmitido, mas que induz uma corrente 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, assim, proporciona uma indicação da condutividade da camada de areia 3. Contudo, o campo magnético gerado pelo conjunto de bobina de transmissor 18 não só se estende na camada de areia 3, mas também no fluido do furo de poço e nas camadas de xisto 5 e 7, de modo que correntes no fluido de furo de poço e nas camadas de xisto 5 e 7 são induzidas.

Os procedimentos globais da presente invenção usados para

assegurar funcionamento adequado de uma ferramenta de perfilagem de indução de multicomponentes empregados são sumarizados na figura 3. A calibração dos arranjos do instrumento é feita, particularmente estimando seu coeficiente de transferência 101. Subseqüentemente, uma verificação final da consistência da sintonia e da calibração é realizada 103. Isso é seguido por uma verificação de suficiência de isolador 105, para impedir um fluxo de corrente axial entre os alojamentos/ componentes eletrônicos de topo e de fundo da ferramenta através do tubo de passagem e condutores, durante perfilagem nos furos de sondagem cheios com a lama condutora.

10 Em mais detalhes, a ferramenta completamente feita é colocada em área de calibração, que tem um número pequeno de partes condutoras externas que poderiam afetar as leituras das ferramentas (maquinaria, ferramentas de medição, etc.). Por exemplo, o posicionamento da ferramenta em, aproximadamente, 15 pés (4,6m) acima do solo, tipicamente, reduz a
15 leitura da ferramenta a um valor menor do que cerca de 10 mS/m.

A ferramenta é posicionada paralela à Terra com o arranjo a ser ajustado apontando normal ao solo. Os alojamentos de topo e de fundo do instrumento são interconectados com o simulador de condutividade de furo de sondagem (BCS) e o isolador é encurtado.

20 A figura 4 ilustra o BCS, compreendendo um conjunto 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 alojamento de fundo 404 através do resistor 410 através do alojamento de topo 405, através de um tubo de passagem que se estende do alojamento de
25 fundo até o alojamento de topo através do mandril 408. O valor do resistor 410 pode ser configurado para ser, aproximadamente, igual a um valor de condutância total que a ferramenta experimentará no interior de um furo de sondagem bem de acordo com suas especificações. Um valor de resistência de, aproximadamente, 20 Ohms é escolhido, tipicamente.

30 Nessa disposição, a ferramenta se torna muito sensível à corrente axial que poderia ser induzida pelo transmissor do arranjo no seguinte laço: "alojamento de topo – tubo de passagem encurtado – alojamento de

fundo – BCS". A magnitude da corrente será proporcional ao deslocamento das bobinas do arranjo de seu alinhamento longitudinal e valor do resistor do simulador.

Para equilibrar o arranjo, sua bobina de transmissor pode ser movida no plano paralelo ao solo. Esse movimento da bobina é realizado até que o mínimo absoluto na leitura do arranjo seja alcançado. Com o ajuste, a armação da bobina do transmissor é fixada no interior do mandril com os conjuntos de parafusos não condutores e/ ou com epóxi. O encurtamento do isolador entre o alojamento superior e o mandril é feito para aumentar significativamente a magnitude da corrente axial neste procedimento de teste e, portanto, aumentar a precisão de equilíbrio. Um posicionamento similar pode ser feito na direção vertical. Como discutido abaixo, a ferramenta é mais sensível ao posicionamento errado na direção vertical do que na direção horizontal. Parafusos de posicionamento adequados podem ser proporcionados na ferramenta de perfilagem para realizar esse movimento.

Após o primeiro arranjo horizontal ter sido ajustado, a ferramenta é girada em torno do seu eixo geométrico e procedimento similar é realizado com o arranjo horizontal seguinte. De um modo geral, o instrumento poderia ter uma pluralidade de arranjos transversais e inclinados, de modo que sintonização similar poderia ser desenvolvida para cada sensor. Após o equilíbrio de todos os arranjos ter sido completado, o curto de isolamento de ferramenta é removido e o mandril é coberto com a luva de pressão não condutora.

A calibração de coeficiente de transferência é feita após o instrumento ser posicionado no ambiente de calibração de baixa condutividade e inserido no interior do calibrador. O princípio da calibração fica na introdução de uma certa carga magnética para calibração de arranjo, de modo que suas leituras de sinais são idênticas aos valores a serem lidos durante a perfilagem de uma formação homogênea. Isso é feito com o uso de um calibrador cujos parâmetros eletromagnéticos e acoplamento com a ferramenta são precisamente conhecidos. Usando o calibrador, o carregamento da ferramenta é obtido pela conexão de certa impedância ao terminal de laço de

calibrador normalmente aberto. Desse modo, o laço aberto apresenta uma formação infinitamente resistiva. Inversamente, pelo corte, formação quase infinitamente condutora é apresentada. Portanto, qualquer valor da condutividade de formação corresponde ao seu valor único da carga de laço de calibração.

A aquisição do sinal de calibração é feita, tipicamente, no modo "carga de calibração conectada – desconectada". Essa diferença na leitura da ferramenta indica quanto a tensão de saída da ferramenta oscila quando a condutividade da formação muda de 0 para o valor calibrado. Para realizar a calibração, o arranjo da ferramenta pode ser orientado normal ao solo, visto que isso leva a mais consistência nas medições e, aparentemente, torna seus arranjos transversais menos sensíveis à quaisquer correntes de ruído que possam estar circulando na superfície da Terra, no lugar da medição (maquinaria, estações de rádio, etc.).

Após o coeficiente de transferência de ferramenta ter sido determinado, as leituras da ferramenta, enquanto o laço de calibrador não está carregado, refletem a condutividade ambiental e, em particular, a condutividade do solo. Esses dados têm que ser conhecidos e armazenados para posterior processamento.

A última etapa na calibração é a verificação da simetria e da imunidade da ferramenta às correntes axiais. A simetria global da ferramenta supõe que o mesmo arranjo lê os mesmos valores da condutividade do "solo" ou ambiental, enquanto sua direção de medição aponta para o solo ou do solo. Com essas finalidades, a ferramenta é girada em torno do eixo geométrico longitudinal em 180°. A ausência dessa "sensitividade de direção" indicará funcionamento normal da ferramenta e assegurará a respectiva simetria, durante operação no furo de poço.

Para verificação da supressão de correntes axiais – um teste de BCS modificado por ser processado com o curto removido na passagem. Desse modo, a conexão e a desconexão do BCS à ferramenta resultarão em diferença mínima absoluta nas leituras que indicarão a operação adequada no poço, sem deslocamento dependente da formação nos dados da ferra-

menta. Esse teste de BCS modificado poderia ser executado como descrito ou, para reduzir o tempo de calibração, realizado logo após o coeficiente de transferência ser determinado.

Voltando agora à figura 5, uma disposição do laço de alinhamento é discutida. Nela está mostrado um laço de alinhamento 501, circundando um arranjo caracterizado pela bobina de transmissor 504 dirigida ao longo de uma direção de X (T_x) e a bobina de receptor 508 dirigida ao longo da direção de X (R_x). A bobina de neutralização B_x 506 também é mostrada. Esse arranjo é denotado XX, usando uma nomenclatura em que a primeira letra significa a direção de orientação da bobina de transmissor e a última letra significa a direção de orientação da bobina de receptor. Essa nomenclatura, em geral, é usada aqui. Os arranjos XX e XY na ferramenta de múltiplos componentes são alinhados, idealmente, em 90° um do outro. Quando esse alinhamento não é satisfeito, as respostas dos componentes transversais (XY, XX) são afetadas por parte da leitura do componente principal relacionado. O método de medição de alinhamento da presente invenção é baseado na análise da saída do sistema de componentes transversais, quando a ferramenta é girada no interior de um laço de alinhamento.

O laço e alinhamento 501 é um laço estacionário, ficando de modo que o eixo geométrico longitudinal do laço e o eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem de poço fiquem substancialmente alinhados. Suas dimensões são tais que se obtenha acoplamento indutivo substancial com o transmissor, bem como com o receptor de ambos os arranjos XX e XY. Um aspecto importante da presente invenção é que nenhuma porção da bobina de transmissor ou de receptor se estende além do laço. Isso está em contraste com os dispositivos da técnica anterior em que essa condição não é satisfeita. Quando essa condição não é satisfeita, a calibração resultante é sensível à posição do laço de calibração em relação às bobinas do transmissor e do receptor e, portanto, suspeita. A disposição mostrada na figura 5 usa um laço único de calibração onde essa condição é satisfeita. O laço único de calibração circunda axialmente a bobina de transmissor e a bobina de receptor. Uma análise detalhada dos sinais é dada mais tarde

neste documento. A ferramenta de perfilagem é suportada dentro do laço de alinhamento por suporte adequado (não mostrado) que tem a capacidade de girar a ferramenta de perfilagem em torno de seu eixo geométrico através de ângulos conhecidos.

5 A figura 6 ilustra um conjunto de alinhamento de laço utilizável para alinhamento de arranjos ZZ em um dispositivo de testagem. O transmissor TZ 601, a bobina de neutralização BZ 603 e o receptor RZ 605 são dispostos ao longo do tubo de passagem 615 e têm um eixo geométrico longitudinal comum. O laço de alinhamento 610 é substancialmente co-axial com o receptor RZ 605 e substrato centralizado em RZ. Como com a disposição da figura 5, a bobina de receptor é circundada axialmente pelo laço de calibração 610.

15 A calibração de arranjo de componentes transversais é discutida a seguir. A figura 7 ilustra uma modalidade para calibração de um arranjo XY usando um caixa de calibração. Essa funciona da mesma maneira que o laço de calibração e pode ser considerada ser uma. O transmissor 701 e a bobina de neutralização 703 são dispostos ao longo do tubo de passagem orientado para produzir um momento magnético em uma direção de X. O receptor 705 é disposto ao longo do mesmo tubo de passagem, tendo uma orientação de modo a receber componentes de um momento magnético em 20 a é disposto ao longo do mesmo tubo de passagem tendo uma orientação de modo a receber componente de um momento magnético em uma direção de Y. O laço de alinhamento 710 é disposto em um ângulo de 45° de modo a ser orientado a meio caminho entre a direção -X e a direção -Y. Para simplificar a ilustração, a caixa foi representada sem mostrá-la como se estendendo além das bobinas de transmissor e de receptor.

25 Aqueles habilitados na técnica reconhecerão que o laço de alinhamento, mostrado nas figuras 5 e 7, será volumoso e possivelmente difícil de gerenciar de acordo com as condições do campo. Uma modalidade da presente invenção que direciona esse problema é discutida a seguir. A figura 30 8 ilustra uma modalidade alternativa para alinhamento de um arranjo de XY. O laço de alinhamento 815 está localizado em TX 801 e o laço de alinha-

mento 810 é posicionado no receptor de componentes transversais de RXY 805. Ambos os laços de alinhamento são orientados ao longo da mesma direção que seus respectivos transmissor/ receptor. Um fio 820 acopla eletricamente o laço de alinhamento 810 e o laço de alinhamento 815. Os laços individuais 810 e 815 são mais fáceis de manipular do que uma única caixa grande e, pelo uso da conexão elétrica 820, são funcionalmente equivalentes à caixa 501 da figura 5. Na configuração da figura 8, o laço 815 circunda, axialmente, a bobina de transmissor 801 e o laço 810 circunda, axialmente, a bobina de receptor.

10 A figura 9 ilustra uma montagem para orientação do arranjo de componente transversal de XZ. O transmissor TX 901 e a bobina de neutralização BX 903 são dispostos ao longo do tubo de passagem 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 passagem e orientado de modo a ser receptivo aos componentes $-Z$ de momentos magnéticos. O laço de alinhamento 920 pode ser posicionado centralmente entre o transmissor $-X$ principal 901 e o receptor de componente transversal $-Z$ 905 e inclinado 45° com relação ao eixo geométrico longitudinal 910. O conjunto da figura 8 mostra pequenos sinais durante a calibração do arranjo XZ. Esse sinal tende a mostrar uma alta sensibilidade ao ângulo.

20 A figura 10 ilustra uma modalidade alternativa para alinhamento do arranjo de componente transversal XZ. Como no aparelho mostrado na figura 8, dois laços são usados. O transmissor TX 1001 e a bobina de neutralização BX 1003 são dispostos ao longo do tubo de passagem orientado de modo a produzir um momento magnético ao longo de uma direção $-X$. O receptor RZ 1005 é disposto ao longo do tubo de passagem, orientado de modo a ser receptivo aos componentes $-Z$ de momentos magnéticos. O laço de alinhamento 1010 é centralizado no transmissor TX 1001 e o laço de alinhamento 1015 é coaxial com o receptor RZ 1005. Um fio 1020 acopla, eletricamente, o laço de alinhamento 1010 e o laço de alinhamento 1015. Em contraste com o conjunto da figura 0, a calibração usando dois dispositivos de alinhamento mostra um grande sinal para a calibração do arranjo XZ.

A seguir, discutimos em detalhes o uso do laço de alinhamento para estabelecimento da orientação da bobina. Quando do exame de um arranjo de componentes transversais, a resposta de XY ou YX, obtida pela rotação da ferramenta no interior do laço de alinhamento, tem um cruzamento zero, cada vez que uma bobina de transmissor ou de receptor fica perpendicular ao plano do laço. Qualquer que seja a bobina (transmissor ou receptor), ela é substancialmente alinhada com o laço (encerrado no mesmo plano) experimenta um acoplamento máximo com o laço de alinhamento. Quando a posição da bobina alinhada é variada em torno do ponto de alinhamento com o laço de alinhamento, a resposta de acoplamento entre eles passa por uma ligeira mudança correspondente à variação. A bobina não alinhada experimenta um acoplamento mínimo com o laço de alinhamento. Quando a posição da bobina não alinhada é variada em torno de seu ponto de acoplamento mínimo, o acoplamento experimenta uma mudança abrupta;. O acoplamento se torna zero quando a bobina não alinhada obtém perpendicularidade com o laço de alinhamento. Um praticante na técnica reconhecerá que os cruzamentos zero da resposta de acoplamento são significativamente afetados pela bobina que está em ângulo reto ao laço de alinhamento, independente de se a bobina perpendicular é um receptor ou um transmissor. A bobina substancialmente alinhada representa um papel pequeno, ou nenhum, na produção de um cruzamento zero. O ângulo entre cruzamentos zero sucessivos, assim, representa um ângulo de alinhamento entre as duas bobinas relacionadas.

Matematicamente, o acoplamento indutivo entre duas bobinas parece uma função de co-seno do ângulo entre elas. Desse modo, o sistema de resposta de acoplamento de bobinas feito por um sistema alinhado de componentes transversais e um laço de alinhamento é dado pela seguinte expressão:

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

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

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

e uma vez que

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

segue-se que

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

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

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

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

onde cada função de co-seno caracteriza a resposta das bobinas de componentes transversais individuais. É fácil ver que

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

Quando

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

- 10 ou quando

Eq. (7)

$$\phi - \frac{\pi}{2} + \beta = n \cdot \frac{\pi}{2} \text{ em } n = \pm 1, 2, 3, \dots$$

De acordo com a Eq. (7), o ângulo entre sucessivos cruzamentos zero representa o ângulo de alinhamento entre as bobinas de componentes transversais. Uma abordagem gráfica intuitiva pode, portanto, ser usado para medir o ângulo de desalinhamento entre o transmissor e o receptor.

- 15 Alternativamente, o ângulo de desalinhamento pode ser obtido simplesmente pelo uso de uma função de regressão trigonométrica para analisar a resposta do sistema. Aplicando identidades trigonométricas à Eq. (5), a resposta do sistema de desalinhamento pode ser escrita como

$$R(\phi, \beta) = K \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(\phi) \cdot \cos(\beta) + K \cdot \cos^2(\phi) \cdot \sin(\beta)$$

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

$$R(\phi, \beta) = \frac{K}{2} \cdot \sin(2 \cdot \phi + \beta) + \frac{K}{2} \cdot \sin(\beta)$$

A última expressão na eq. (8) indica que uma representação gráfica da resposta de acoplamento do sistema de componentes transversais desalinhados parece uma função senoidal. O período desse sinusóide iguala 180° e tem deslocamentos na abscissa e na ordenada. O deslocamento na abscissa é β e o deslocamento na ordenada é $(K/2)\sin(\beta)$. Também, a resposta do acoplamento é da forma $A \sin(x + B) + C$, onde $A = K/2$, $B = \beta$ e $C = (K/2)(\sin(\beta))$. O coeficiente B obtido com esse ajuste representa o ângulo de desalinhamento. A resposta de componente cruzado pode, assim, ser encaixada nessa curva.

A sensibilidade ao possível deslocamento ao longo do eixo geométrico longitudinal da ferramenta ou verticalmente pode ser analisada por mudanças no produto $M = M_{T-C}M_C$, onde M_{R-C} é a indutância mútua entre as bobinas de transmissor e de alinhamento e M_{R-C} é a indutância mútua entre as bobinas de alinhamento e do receptor. As medições mostram que há, tipicamente, em geral, uma flexibilidade de 1" no posicionamento horizontal e cerca da metade daquela quantidade em posicionamento vertical sem afetar, substancialmente a resposta de indução.

Para posicionar adequadamente os arranjos, a bobina de transmissor de um arranjo é movida na direção normal ao solo. Esse movimento da bobina é realizado até que um mínimo absoluto na resposta de acoplamento seja determinada. Com o ajuste, a armação de bobina de transmissor é fixada no interior do mandril. Após o primeiro arranjo horizontal ter sido ajustado, a ferramenta é girada em seu eixo geométrico e um procedimento similar é realizado com o outro arranjo horizontal. Em geral, ajuste similar pode ser desenvolvido para um instrumento tendo uma pluralidade de arranjos transversais e inclinados. Após o equilíbrio de todos os arranjos ter sido obtido, o curto de isolamento de ferramenta é removido e o mandril é coberto com a luva de pressão não condutora.

Uma verificação final da consistência do equilíbrio e da calibração da bobina é feita. A calibração de um coeficiente de transferência é realizada uma vez que o instrumento é inserido no interior do calibrador no ambiente de calibração de baixa condutividade. Uma carga magnética é introduzida, adequada para calibrar o arranjo, de modo que suas leituras de sinais são idênticas aos valores a serem lidos durante a perfilagem de uma formação homogênea. A carga magnética é introduzida usando o calibrador referenciado acima, usando parâmetros eletromagnéticos e parâmetros de acoplamento conhecidos. O carregamento da ferramenta pode ser obtido por meio da conexão de impedância selecionada ao terminal de um laço normalmente aberto. Desse modo, o laço aberto representa uma formação infinitamente resistiva. Uma vez encurtado, o laço fechado representa uma formação quase infinitamente condutora (limitada apenas por impedância interna dos fios do laço de calibrador). Portanto, uma carga de laço de calibração pode ser escolhida efetivamente representando uns dados valores de condutividade de formação.

Implícito no controle e no processamento dos dados está o uso de um programa de computador em um meio legível em máquina adequado que permite ao processador realizar o controle e o processamento. O meio legível em máquina pode incluir ROMs, EPROMs, EEPROMs, memórias Flash e discos óticos.

Embora a divulgação precedente seja dirigida às modalidades preferidas da invenção, várias modificações serão evidentes para aqueles habilitados na técnica. É pretendido que todas as variações dentro do escopo e do espírito das reivindicações anexas sejam envolvidas pela exposição precedente.

As definições a seguir são úteis na compreensão do escopo da invenção:

alinhamento: o posicionamento ou estado adequado de ajuste de partes em relação uma à outra;

calibrar: padronizar pela determinação do desvio de um padrão de modo a determinar os fatores de correção apropriados;

bobina: uma ou mais voltas, possivelmente circulares ou cilíndricas, de um condutor portador de corrente, capaz de produzir um campo magnético;

5 *EAROM*: ROM eletricamente alterável;

circundar: envolver completamente;

EPROM: ROM programável apagável;

memória flash: uma memória não volátil que pode ser reescrita ;

meio legível em máquina: alguma coisa em que a informação
10 pode ser armazenada em uma forma que pode ser compreendida por um
 computador ou um processador;

desalinhamento: a condição de estar fora de linha ou ajustado
 impropriamente;

disco ótico: um meio em forma de disco em que métodos óticos
 são usados para armazenamento e recuperação de informação;

15 *posicionar*: um ato de colocar ou dispor; o ponto ou área ocupa-
 da por um objeto físico;

quadratura: 90° fora de fase; e

ROM: memória para leitura somente.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para avaliar uma ferramenta de perfilagem de indução para uso em um furo de sondagem, a ferramenta de perfilagem compreendendo:

5 a) uma fonte de corrente que ativa uma bobina de transmissor na ferramenta de perfilagem de indução; e

 b) uma bobina de receptor espaçada axialmente da bobina de transmissor, a bobina de receptor produzindo um sinal em resposta à ativação da bobina de transmissor; e

10 c) pelo menos um laço de condução circundando axialmente pelo menos um de (A) bobina de transmissor e (B) bobina de receptor; em que o sinal é indicativo de um ângulo de desalinhamento entre a bobina de transmissor e a bobina de receptor.

 2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que o pelo menos um laço de condução compreende um laço de condução único circundando axialmente a bobina de transmissor e a bobina de receptor.

 3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que o pelo menos um laço de condução compreende um primeiro laço de condução circundando axialmente a bobina de transmissor e um segundo laço de condução conectado eletricamente ao primeiro laço, o segundo laço de condução circundando axialmente a bobina de receptor.

 4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que a bobina de transmissor tem um eixo geométrico que é um de (i) paralelo a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem.

 6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, ainda compreendendo:

 (i) um suporte que gira a ferramenta de perfilagem através de uma pluralidade de ângulos, o transmissor sendo ativado em cada um da pluralidade de ângulos rotacionais; e

 (ii) um processador que estima dos sinais em cada um da pluralidade de ângulos rotacionais o ângulo de desalinhamento.

7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 6, em que o processador determina o ângulo de desalinhamento pelo menos em parte pelo uso de uma relação da forma:

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

5 onde K é um fator de ganho, θ é um ângulo entre uma das bobinas e um plano definido por pelo menos um laço de condução e β é o ângulo de desalinhamento

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 6, em que o processador determina o ângulo de desalinhamento com base na estimativa de um ângulo rotacional em que o sinal é substancialmente zero.

10 9. Método de avaliação de uma ferramenta de perfilagem de indução para uso em um furo de sondagem, o método compreendendo:

a) ativação de uma bobina de transmissor na ferramenta de perfilagem de indução;

15 b) uso de uma bobina de receptor para proporcionar um sinal em resposta à ativação da bobina de transmissor;

c) estimativa, a partir do sinal, de um ângulo de desalinhamento entre a bobina de transmissor e a bobina de receptor; e

20 d) posicionamento da ferramenta de perfilagem durante a ativação da bobina de transmissor com pelo menos um laço de condução circundando axialmente pelo menos uma de (A) bobina de transmissor; e (B) bobina de receptor.

25 10. Método, de acordo com a reivindicação 9, em que o posicionamento da ferramenta de perfilagem ainda compreende o uso de um único laço de condução para circundar, axialmente, a bobina de transmissor e a bobina de receptor.

11. Método, de acordo com a reivindicação 1, em que o posicionamento da ferramenta de perfilagem ainda compreende:

(i) uso de um primeiro laço de condução para circundar axialmente a bobina de transmissor; e

30 (ii) uso de um segundo laço de condução conectado eletrica-

mente ao primeiro laço de condução para circundar axialmente a bobina de receptor.

12. Método, de acordo com a reivindicação 9, em que a bobina de transmissor tem um eixo geométrico que é um de (i) paralelo a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem; e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem.

13. Método, de acordo com a reivindicação 9, em que a bobina de receptor tem um eixo geométrico que é um de (i) paralelo a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem e (ii) substancialmente ortogonal a um eixo geométrico longitudinal da ferramenta de perfilagem.

14. Método, de acordo com a reivindicação 9, ainda compreendendo: rotação da ferramenta de perfilagem através de uma pluralidade de ângulos, o transmissor sendo ativado em cada um da pluralidade de ângulos rotacionais, em que a estimativa do ângulo de desalinhamento ainda compreende o uso de sinais em cada um da pluralidade de ângulos rotacionais.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, em que a determinação do desalinhamento ainda compreende o uso de uma relação da forma:

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

Onde K é um fator de ganho, θ é um ângulo entre uma das bobinas e um plano definido por pelo menos um laço de condução e β é o ângulo de desalinhamento.

16. Método, de acordo com a reivindicação 14, em que o ângulo de desalinhamento ainda compreende a estimativa de um ângulo rotacional em que o sinal é substancialmente zero.

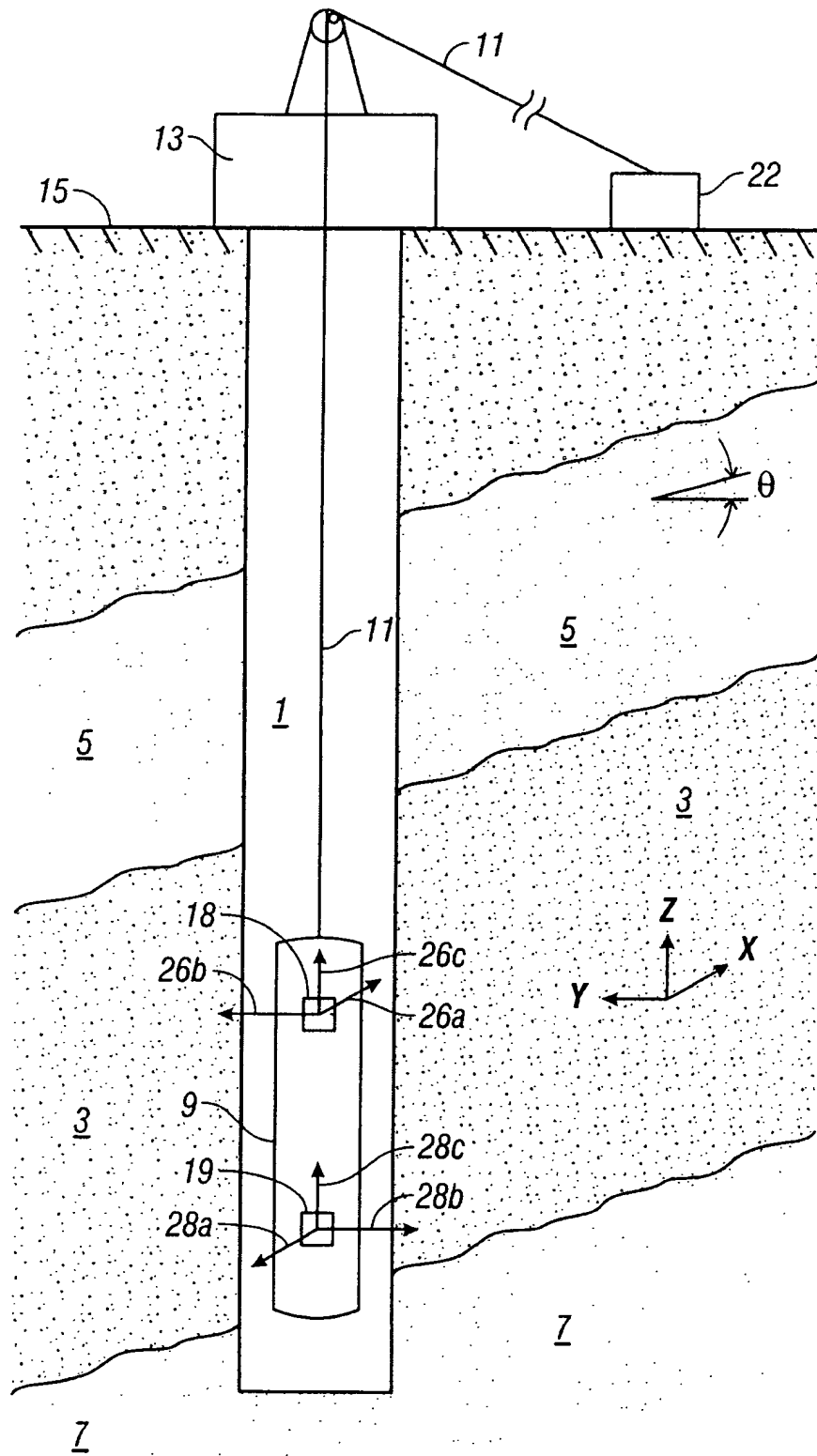
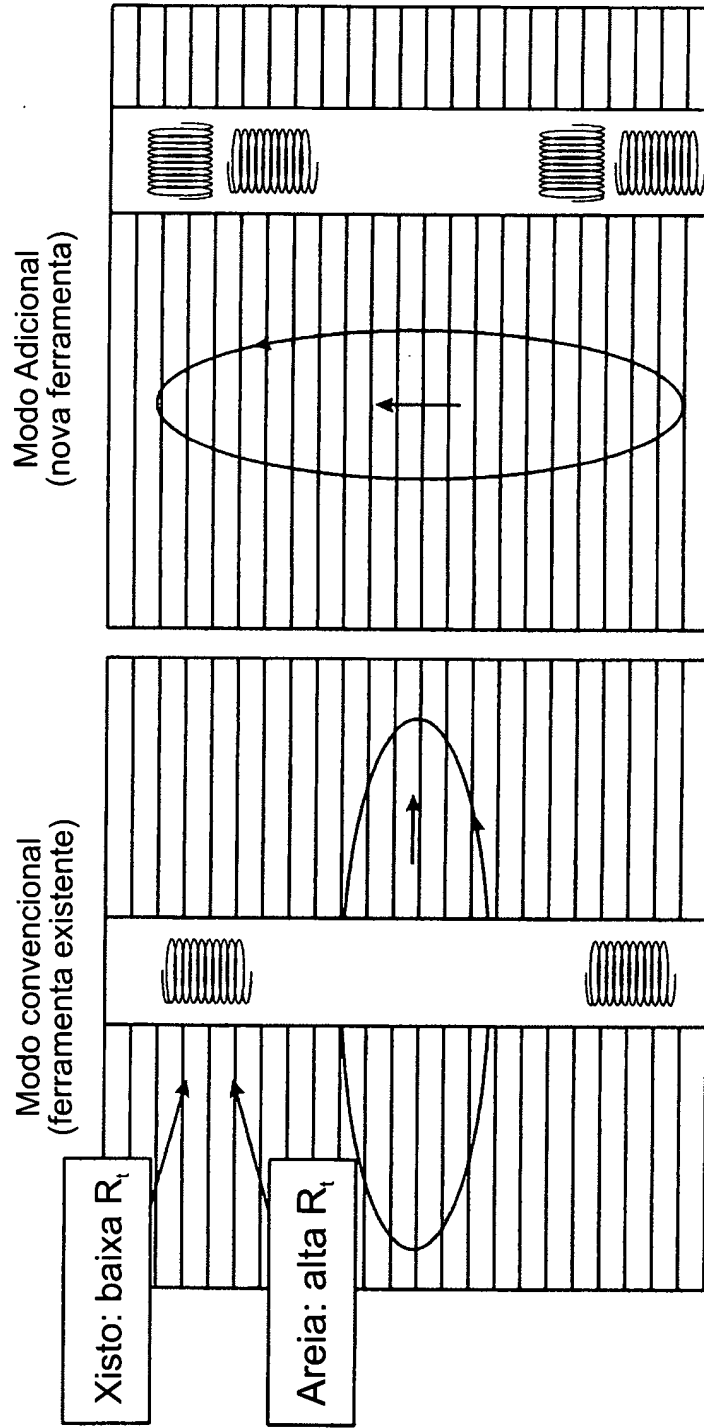


FIG. 1
(Técnica Anterior)

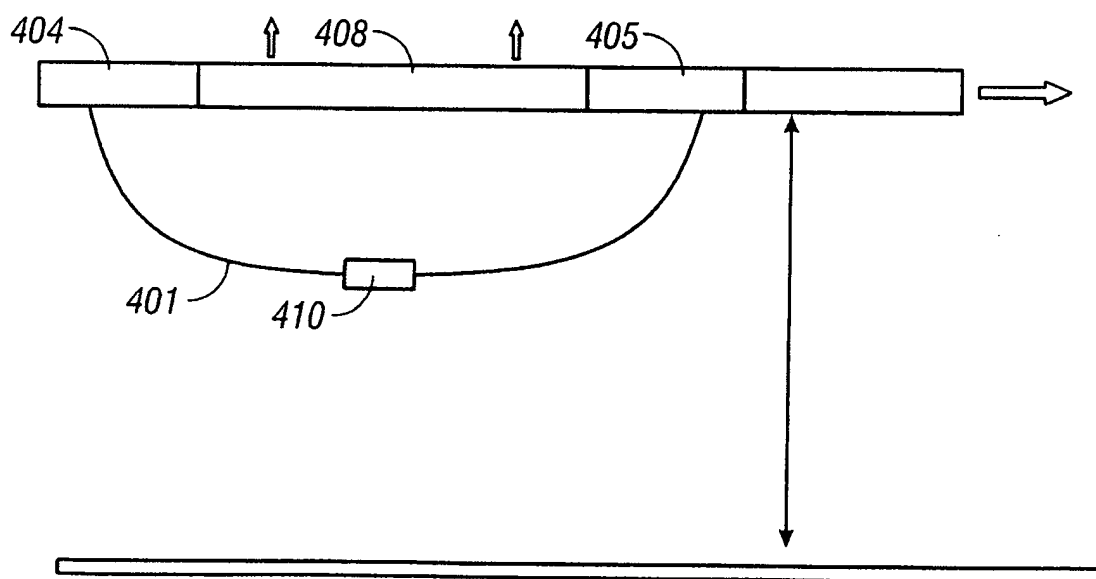
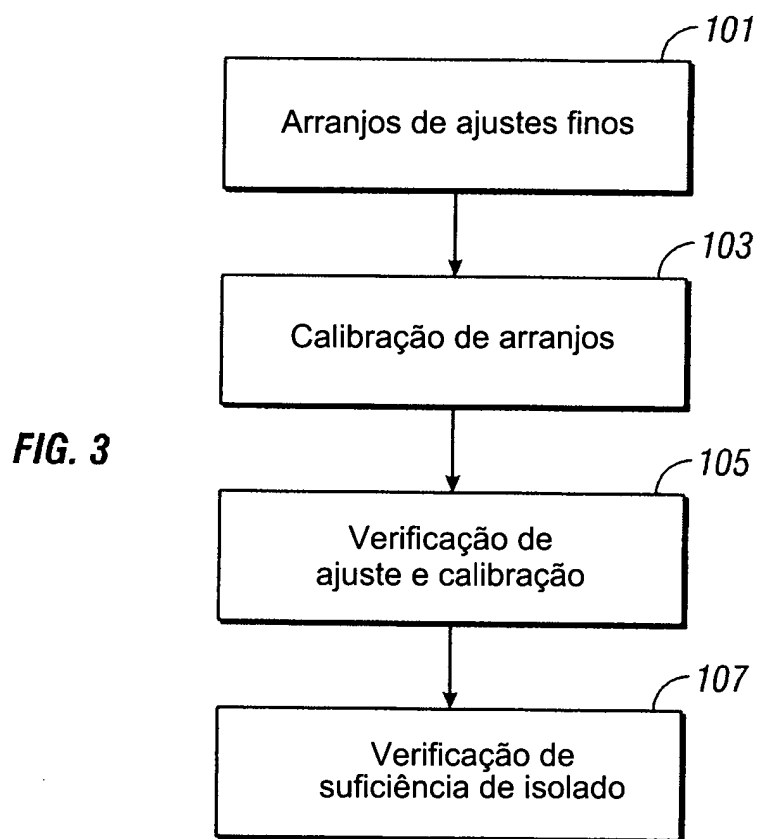
Princípio de Inclinação de Operação

**FIG. 2A**

(Técnica Anterior)

FIG. 2B

(Técnica Anterior)

**FIG. 4**

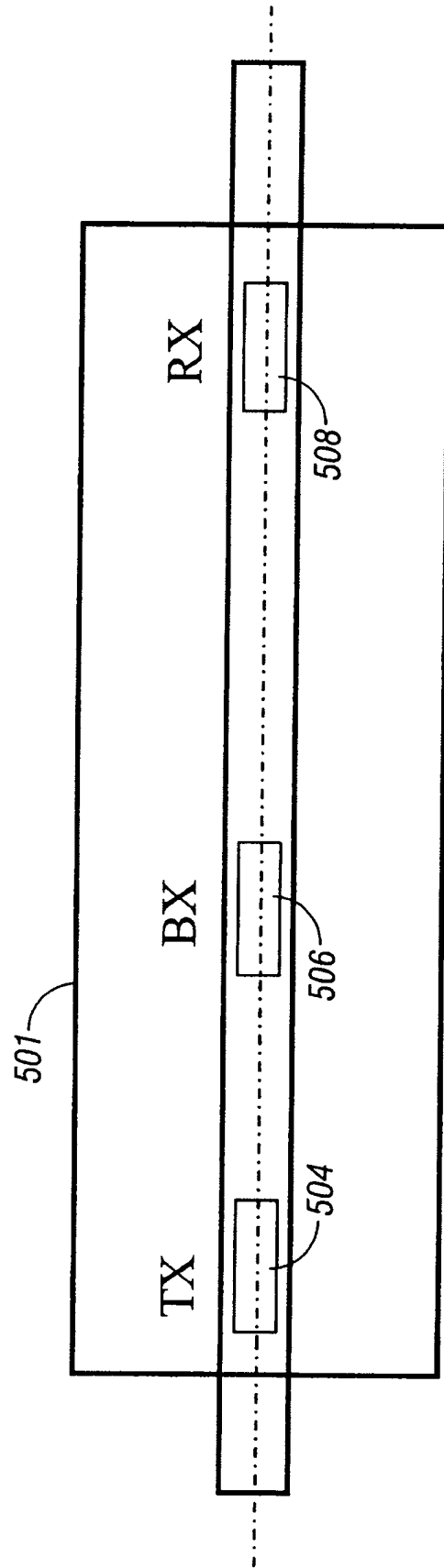
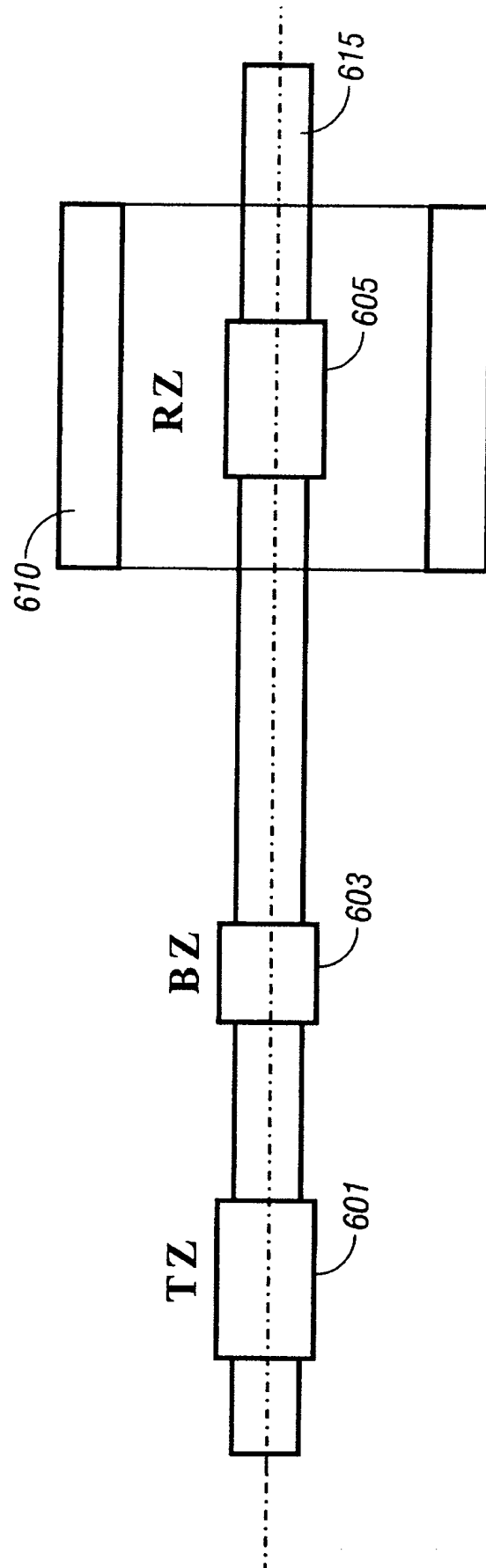


FIG. 5

**FIG. 6**

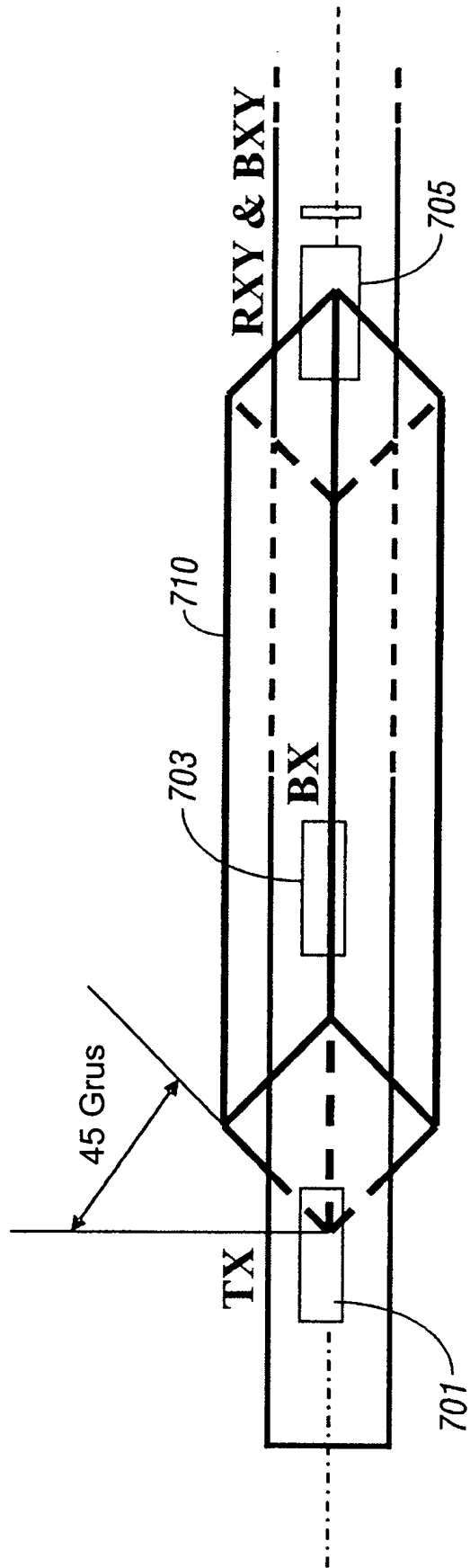


FIG. 7

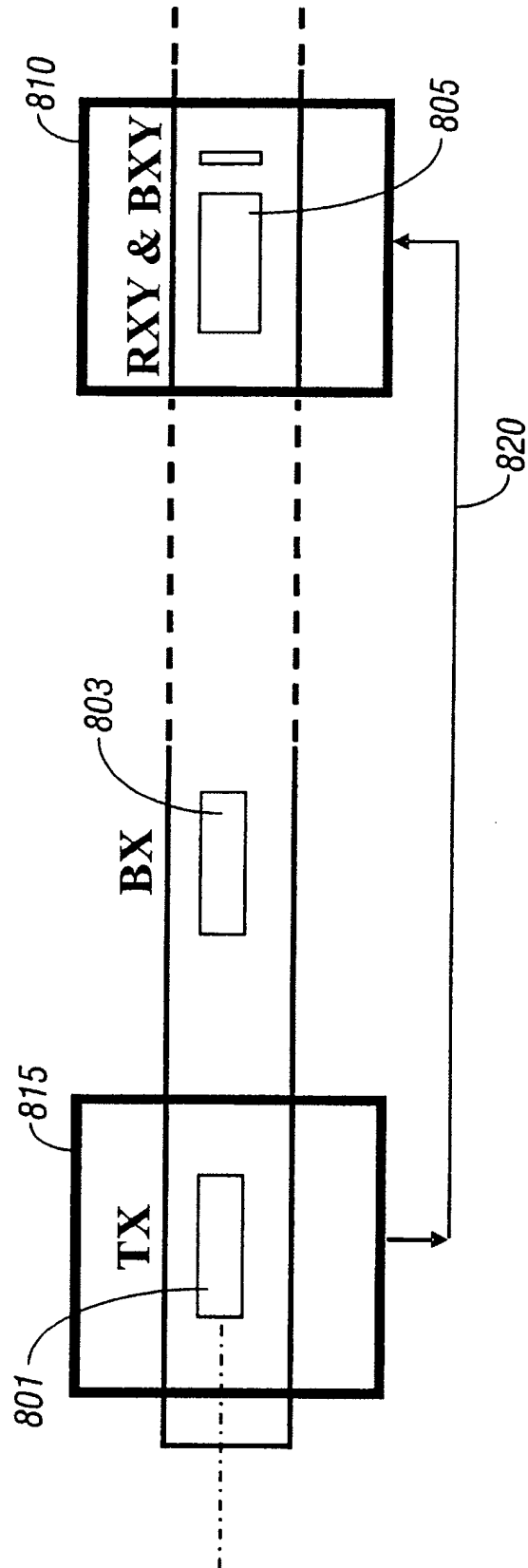


FIG. 8

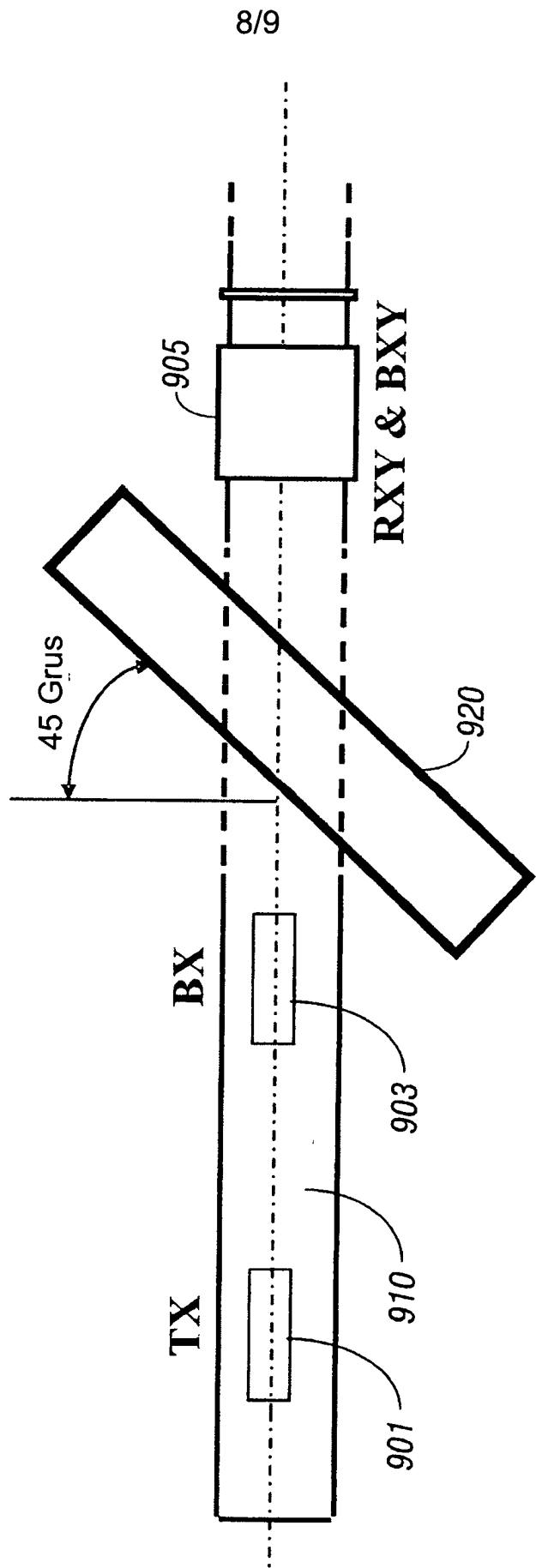


FIG. 9

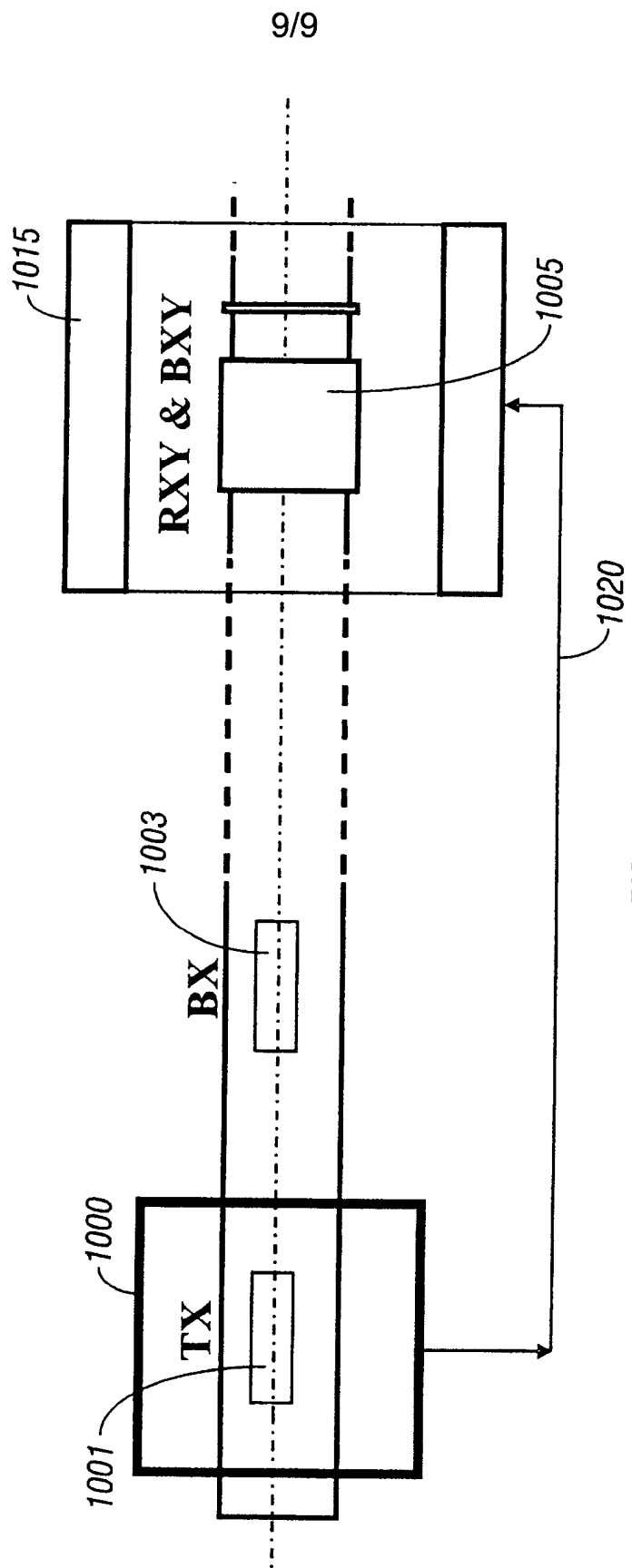


FIG. 10

RESUMO

Patente de Invenção: "CALIBRADOR DE DOIS LAÇOS".

Desalinhamento das bobinas de transmissor e de receptor de uma ferramenta de perfilagem de indução é determinado pelo posicionamen-
5 to da ferramenta de perfilagem com uma bobina circundando axialmente a bobina transmissora e/ou a bobina receptora e ativação do transmissor em uma pluralidade de ângulos rotacionais.