



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

(21) **PI0710647-5 A2**



* B R P I 0 7 1 0 6 4 7 A 2 *

(22) Data de Depósito: 03/04/2007
(43) Data da Publicação: 23/08/2011
(RPI 2120)

(51) *Int.Cl.:*
G01V 3/00 2006.01

(54) Título: **MÉTODO E APARELHO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE DA FORMAÇÃO À FRENTE DO FURADOR E AZIMUTAL NO FURADOR**

(30) Prioridade Unionista: 16/03/2007 US 11/687,470, 07/04/2006 US 60/790,363, 07/04/2006 US 60/790,363

(73) Titular(es): Baker Hughes Incorporated

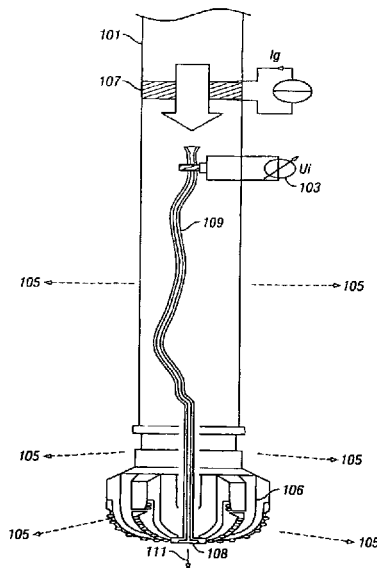
(72) Inventor(es): Christian Fulda, Matthias Gorek

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

(86) Pedido Internacional: PCT US2007008068 de 03/04/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/123802 de 01/11/2007

(57) Resumo: MÉTODO E APARELHO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE DA FORMAÇÃO À FRENTE DO FURADOR E AZIMUTAL NO FURADOR A presente invenção refere-se a um método e aparelho para obter uma medição de resistividade de uma formação terrestre que circunda um furo de sondagem em um dispositivo MWD, que usa a ponta do furador e a porção adjacente do colar da broca como um eletrodo de focalização para focalizar a corrente de medida proveniente de um eletrodo de medida na face ou lado da ponta do furador. Isso provê a capacidade de enxergar à frente de, e de modo azimutal, ao redor da ponta do furador.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO E APARELHO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE DA FORMAÇÃO À FRENTE DO FURADOR E AZIMUTAL NO FURADOR**".

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

5 1. Campo da Invenção

A presente invenção refere-se, de forma geral, à exploração de hidrocarbonetos envolvendo investigações elétricas de um furo de sondagem penetrando uma formação terrestre. Mais especificamente, essa invenção refere-se a um furador instrumentado em uma ferramenta se movendo
10 ao longo do furo de sondagem dentro de uma formação terrestre para introduzir e medir correntes de levantamento individuais injetadas na parede do furo de sondagem. Sensores de medição adicionais podem também ser providos.

2. Antecedentes da Técnica

15 O registro do furo de sondagem terrestre elétrico é bem conhecido e vários dispositivos e várias técnicas foram descritos para essa finalidade. Falando de maneira geral, existem duas categorias de dispositivos usados nos dispositivos de registro elétrico. Na primeira categoria, os chamados dispositivos "galvânicos", os eletrodos emitem corrente para dentro das formações terrestres a fim de determinar a resistividade. Uma das
20 formas mais simples dos dispositivos galvânicos é o assim chamado dispositivo "normal" onde um eletrodo de corrente emite uma corrente através da formação terrestre para uma localização de retorno remota, e um eletrodo de voltagem mede o potencial devido a essa corrente com relação à localização de referência remota. Na segunda categoria, ferramentas de medição indutivas, uma antena dentro do instrumento de medição induz um fluxo de corrente dentro da formação terrestre. A resistividade pode ser determinada medindo a magnitude ou a atenuação causada pela propagação dessa corrente por meio da mesma antena ou antenas receptoras separadas. Várias
25 modalidades ilustrativas da presente invenção pertencem à primeira categoria, dispositivos galvânicos, como descrito em mais detalhes abaixo.

30

Dispositivos do tipo normal foram usados extensivamente na

indústria de registro para determinar a resistividade da formação quando o fluido do furo de sondagem é mais resistivo ou é ligeiramente menos resistivo do que a formação. Um dos dispositivos anteriores foi esse de Doll onde uma ferramenta assim chamada "micronormal" foi usada para medir a resistividade perto da parede do furo de sondagem.

Alguns dispositivos galvânicos são projetados para focalizar a corrente de levantamento dentro da formação cuja resistividade é para ser determinada. Por exemplo, Birdwell (Patente US 3.365.658) ensina o uso de um eletrodo focalizado para a determinação da resistividade das formações da subsuperfície. Uma corrente de levantamento é emitida a partir de um eletrodo de levantamento central para as formações terrestres adjacentes. Essa corrente de levantamento é focalizada em um feixe relativamente estreito de corrente para fora do furo de sondagem pelo uso de uma corrente de focalização emitida de eletrodos de focalização próximos localizados adjacentes ao eletrodo de levantamento e em qualquer lado do mesmo. Outros dispositivos galvânicos focalizam a corrente perto da parede do furo de sondagem. Isso é útil quando a resistividade da lama é muito menor do que a resistividade da formação.

A Patente US 6.050.068 para Chemali e outros, tendo o mesmo procurador que a presente invenção, cujos conteúdos são incorporados aqui por referência, ensina um aparelho para fazer as medições da resistividade de uma formação terrestre durante o processo de perfuração. Uma ponta do furador é transportada em uma montagem inferior com a finalidade de perfurar o furo de sondagem. Pelo menos um eletrodo de medida é carregado em uma superfície exterior da ponta do furador e é usado para transportar uma corrente de medida para dentro da formação. Um dispositivo colocado em uma cavidade da ponta do furador é responsivo a pelo menos um de (i) a corrente e (ii) a voltagem do pelo menos um eletrodo de medida. A resposta desse dispositivo indica uma medição da resistividade da formação perto do furo de sondagem. Uma fonte de voltagem acoplada pelo menos em um eletrodo provê uma voltagem especificada para o pelo menos um eletrodo. O dispositivo revelado em Chemali é um dispositivo não focalizado. Conse-

qüentemente, podem existir variações na resistividade medida devido a mudanças no afastamento do eletrodo durante a rotação da ferramenta. Pode ser desejável reduzir o efeito do afastamento. Aqueles versados na técnica, e tendo o benefício da presente invenção, reconheceriam que o afastamento no furador pode ser causado pelo pulo do furador durante a perfuração.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Uma modalidade da descrição é um aparelho para fazer medições de uma formação terrestre durante a perfuração de um furo de sondagem. O aparelho inclui uma ponta do furador transportada em uma montagem do furo inferior (BHA). Um eletrodo na ponta do furador é configurado para transportar uma corrente de medida para dentro da formação terrestre, o eletrodo sendo eletricamente isolado da ponta do furador. Uma fonte de potência é configurada para gerar a corrente medida e manter a ponta do furador em um potencial tendo um valor substancialmente igual a um potencial do eletrodo. O aparelho também inclui um processador configurado para usar o valor do potencial e um valor da corrente para estimar o valor do parâmetro de interesse, e gravar o valor estimado em um meio adequado. O parâmetro de interesse pode ser uma resistividade da formação terrestre, uma condutividade da formação terrestre, uma distância para uma interface na formação terrestre e/ou uma imagem de resistividade da formação. O aparelho pode também incluir um sensor de orientação na BHA, o eletrodo estando em um lado da ponta do furador, e em que o processador é configurado também para compactar e telemetrar uma imagem de resistividade da formação para uma localização de superfície. O processador pode ser também configurado para estimar o valor do parâmetro de interesse usando um fator de calibração determinado a partir de uma medição em um meio de resistividade conhecida. O sensor de orientação pode ser um acelerômetro, um magnetômetro e/ou um giroscópio. A fonte de potência pode também incluir uma bobina toroidal. O aparelho pode também incluir um dispositivo de medição de corrente configurado para prover o valor da corrente de medida. O processador pode ser também configurado para controlar uma direção de perfuração da BHA com base em uma distância determinada para

uma interface na formação terrestre e/ou uma imagem de resistividade da formação.

Uma outra modalidade é um método para medir um parâmetro de interesse de uma formação terrestre durante a perfuração de um furo de sondagem. O método inclui transportar uma ponta do furador em uma BHA para dentro do furo de sondagem. Uma corrente de medida é transportada para dentro da formação terrestre usando um eletrodo em e eletricamente isolado da ponta do furador. A corrente de medida é focalizada e uma estimativa é feita do valor do parâmetro de interesse usando um valor do potencial do eletrodo e um valor da corrente. O valor estimado do parâmetro de interesse é gravado em um meio adequado. A focalização da corrente medida pode ser feita mantendo a ponta do furador em um potencial tendo um valor substancialmente igual ao potencial do eletrodo. O parâmetro de interesse pode ser uma resistividade da formação terrestre, uma condutividade da formação terrestre, uma distância para uma interface na formação terrestre e/ou uma imagem de resistividade da formação. O método pode também incluir medir uma orientação da BHA, transportar a corrente de medida de um lado da ponta do furador e compactar e telemetrar uma imagem de resistividade da formação para uma localização de superfície. A estimativa do valor do parâmetro de interesse pode ser também baseada no uso de um fator de calibração determinado a partir de uma medição em um meio de resistividade conhecida. A medição da orientação da BHA pode ser baseada no uso de um sensor de orientação que pode ser um acelerômetro, um magnetômetro e/ou um giroscópio. A corrente de medida pode ser gerada usando uma bobina toroidal. Um valor da corrente de medida pode ser provido usando um dispositivo de medição de corrente. O método pode também incluir controlar a direção de perfuração para fora da BHA com base em uma distância determinada para uma interface na formação terrestre e/ou uma imagem de resistividade da formação.

Uma outra modalidade é um meio legível por computador para uso com um aparelho para fazer medições de um parâmetro de interesse de uma formação terrestre. O aparelho inclui uma ponta do furador transportada

em uma BHA. Um eletrodo na ponta do furador é configurado para transportar uma corrente de medida para dentro da formação terrestre, o eletrodo sendo eletricamente isolado da ponta do furador. Uma fonte de potência é configurada para gerar uma corrente de medida e manter a ponta do furador em um potencial tendo um valor substancialmente igual a um potencial fora do eletrodo. O meio inclui instruções que possibilitam que um processador use o valor do potencial e um valor da corrente para estimar um valor do parâmetro de interesse, e para gravar o valor estimado do parâmetro de interesse em um meio adequado. O meio pode incluir uma ROM, uma EPROM, uma EEPROM, uma memória flash e/ou um disco ótico.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A presente invenção é entendida melhor com referência às figuras seguintes nas quais numerais semelhantes se referem a elementos semelhantes.

15 A figura 1 é uma ilustração esquemática de um sistema de perfuração que inclui uma ferramenta de registro de resistividade de acordo com várias modalidades ilustrativas da presente invenção,

A figura 2 é uma ilustração de uma modalidade da presente invenção na qual uma corrente de medida à frente do furador é focalizada usando a ponta do furador,

20 A figura 3 é uma ilustração de uma implementação sensível no sentido azimutal da presente invenção na qual uma corrente de medida é focalizada usando a ponta do furador,

A figura 4 é uma ilustração do modelo da ponta do furador e do eletrodo de medida na parte frontal do furador usado para simulação da resposta da ferramenta de registro de resistividade da presente invenção e

25 A figura 5 mostra uma comparação da corrente na ferramenta de registro de resistividade da presente invenção com um limite de leito à frente da ponta do furador com a resposta de uma ferramenta de registro da técnica anterior.

30

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A figura 1 mostra um diagrama esquemático de um sistema de

perfuração 10 tendo uma montagem abaixo no furo contendo um sistema sensor e os dispositivos de superfície de acordo com uma modalidade da presente invenção. Como mostrado, o sistema 10 inclui um guindaste convencional 11 erigido em um piso de guindaste 12 que suporta uma mesa giratória 14 que é girada por um motor principal (não mostrado) em uma velocidade rotacional desejada. Uma coluna de perfuração 20 que inclui uma seção de cano de perfurar 22 se estende para baixo da mesa giratória 14 para dentro do furo de sondagem 26. Uma ponta do furador 50 presa na coluna de perfuração 20 abaixo no furo desintegra as formações geológicas quando ela é girada. A coluna de perfuração 20 é acoplada em um “guincho principal” 30 via uma junta “kelly” 21, tornel 28 e linha 29 através de um sistema de polias 29a. Durante as operações de perfuração, a guincho principal 30 é operado para controlar o peso no furador e a taxa de penetração da coluna de perfuração 20 para dentro do furo de sondagem 26. A operação do guincho principal 30 é bem-conhecida na técnica e assim não é descrita em detalhes aqui.

Durante as operações de perfuração, um fluido de broquear adequado (geralmente citado na técnica como “lama”) de um poço de lama 32 é circulado sob pressão através da coluna de perfuração 20 por uma bomba de lama 34. O fluido de broquear 31 passa da bomba de lama 34 para dentro da coluna de perfuração 20 via um “desurger” 36, linha de fluido 38 e a junta kelly 21. O fluido de broquear 31 é descarregado no fundo do furo de sondagem 51 através de uma abertura na ponta do furador 50. O fluido de broquear 31 circula para cima do furo através do espaço anular 27 entre a coluna de perfuração 20 e o furo de sondagem 26 e é descarregado no poço de lama 32 via uma linha de retorno 35. De preferência, uma variedade de sensores (não mostrado) é apropriadamente disposta na superfície de acordo com métodos conhecidos na técnica para prover informação sobre vários parâmetros relacionados com a perfuração, tais como taxa de fluxo do fluido, peso no furador, carga no gancho, etc.

Uma unidade de controle de superfície 40 recebe sinais dos sensores abaixo no furo e dispositivos via um sensor 43 colocado na linha

de fluido 38 e processa tais sinais de acordo com instruções programadas providas para a unidade de controle de superfície 40. A unidade de controle de superfície 40 exibe parâmetros de perfuração desejados e outras informações em um mostrador/monitor 42, cuja informação é utilizada por um operador para controlar as operações de perfuração. A unidade de controle de superfície 40 contém um computador, memória para armazenar dados, registrador(es) de dados e/ou outros periféricos. A unidade de controle de superfície 40 também inclui modelos e processa dados de acordo com instruções programadas e responde aos comandos do usuário inseridos através de um recurso adequado, tal como um teclado. A unidade de controle 40 é preferivelmente adaptada para ativar alarmes 44 quando certas condições de operação inseguras ou indesejáveis ocorrem. Aqueles versados na técnica reconheceriam que se um motor de lama é usado, existe rotação relativa entre a ponta do furador e a coluna de perfuração e provisão tem que ser feita para a transferência dos sinais entre a ponta do furador e a coluna de perfuração. Essa transferência pode ser feita usando telemetria eletromagnética.

O motor de perfuração ou motor de lama 55 acoplado na ponta do furador 50 através de um eixo de transmissão (não mostrado) disposto em uma montagem de mancal 57 gira a ponta do furador 50 quando o fluido de broquear 31 é passado através do motor de lama 55 sob pressão. A montagem de mancal 57 suporta as forças radial e axial da ponta do furador 50, a propulsão descendente do motor de perfuração 55 e o carregamento ascendente relativo do peso aplicado sobre o furador. Um estabilizador 58 acoplado na montagem de mancal 57 age como um centralizador para a porção mais inferior da montagem do motor de lama 55.

Em uma modalidade do sistema, a submontagem abaixo no furo 59 (também citada como a montagem do furo inferior ou "BHA"), que contém os vários sensores e dispositivos MWD para prover informação sobre a formação e parâmetros de perfuração abaixo no furo e o motor de lama 55, é acoplada entre a ponta do furador 50 e o cano de perfuração 22. A montagem abaixo no furo 59 preferivelmente é de construção modular, em que os

vários dispositivos são seções interligadas de modo que seções individuais podem ser substituídas quando desejado. Pode ser necessário montar o cabo para o eletrodo do furador (discutido abaixo) em todos os outros dispositivos entre o furador e o eletrodo de retorno (também discutido abaixo).

5 Ainda com referência de novo à figura 1, a BHA 59 pode também conter sensores e dispositivos além dos sensores acima descritos. Tais dispositivos incluem um dispositivo 64 para medir a resistividade da formação perto e/ou em frente da ponta do furador 50, um dispositivo de raios gama 76 para medir a intensidade dos raios gama da formação e dispositivos, tal como um inclinômetro 74 para determinar a inclinação e/ou o azimute da
10 coluna de perfuração 20. O dispositivo de medição da resistividade da formação 64 é preferivelmente acoplado acima da submontagem de arranque inferior 62 que provê sinais, dos quais a resistividade da formação perto ou em frente da ponta do furador 50 é determinada. Um dispositivo de resistividade de propagação duplo (“DPR”) tendo um ou mais pares de antenas de
15 transmissão 66a e 66b separadas de um ou mais pares de antenas receptoras 68a e 68b é usado. Dipolos magnéticos são utilizados que operam no espectro de frequência média e no espectro de alta frequência inferior. Em operação, as ondas eletromagnéticas transmitidas são perturbadas quando
20 elas propagam através da formação que circunda o dispositivo de medição de resistividade 64. As antenas receptoras 68a e 68b detectam as ondas perturbadas. A resistividade da formação é derivada da fase e amplitude dos sinais detectados. Os sinais detectados são processados por um circuito abaixo no furo e/ou processador que é preferivelmente colocado em um alojamento 70 acima do motor de lama 55 e transmitidos para a unidade de
25 controle de superfície 40 usando um sistema de telemetria adequado 72.

 O inclinômetro 74 e o dispositivo de raios gama 76 são adequadamente colocados ao longo do dispositivo de medição de resistividade 64 para determinar, respectivamente, a inclinação da porção da coluna de perfuração 20 perto da ponta do furador 50 e a intensidade dos raios gama da
30 formação. Qualquer inclinômetro e dispositivo de raios gama adequados, entretanto, podem ser utilizados com a finalidade de várias modalidades ilus-

trativas da presente invenção. Além disso, um dispositivo de orientação (não mostrado), tais como um magnetômetro, um acelerômetro ou um dispositivo giroscópico, pode ser utilizado para determinar o azimute da coluna de perfuração 20. Tais dispositivos são conhecidos na técnica e assim, não são descritos em detalhes aqui. Na configuração acima descrita, o motor de lama 55 transfere potência para a ponta do furador 50 via um ou mais eixos ocos que correm através do dispositivo de medição de resistividade 64. O eixo oco possibilita que o fluido de broquear passe do motor de lama 55 para a ponta do furador 50. Em uma modalidade alternada da coluna de perfuração 20, o motor de lama 55 pode ser acoplado abaixo do dispositivo de medição de resistividade 64 ou em qualquer outro lugar adequado.

A coluna de perfuração 20 contém uma montagem de sensor modular, tal como o dispositivo de medição de resistividade da formação 64, uma montagem de motor, tal como a montagem do motor de lama 55 e uma ou mais submontagens de arranque, tal como a submontagem de arranque inferior 62, por exemplo. Em uma modalidade, a montagem do sensor inclui um dispositivo de resistividade, como descrito em mais detalhes abaixo, o dispositivo de raios gama 76 e o inclinômetro 74.

A montagem do furo inferior (BHA) 59 da presente invenção inclui uma seção MWD 78 que pode incluir um dispositivo de medição de porosidade de formação nuclear, um dispositivo de densidade nuclear e um sistema de sensor acústico colocado acima do motor de lama 55 no alojamento para a seção MWD 78 para prover informação útil para avaliar e testar as formações da subsuperfície ao longo do furo de sondagem 26. A presente invenção pode utilizar qualquer um dos dispositivos de densidade de formação conhecidos. Qualquer dispositivo de densidade da técnica anterior usando uma fonte de raios gama pode ser usado. Em uso, os raios gama emitidos da fonte entram na formação onde eles interagem com a formação e atenuam. A atenuação dos raios gama é medida por um detector adequado do qual a densidade da formação é determinada.

Os dispositivos acima mencionados transmitem dados para o sistema de telemetria abaixo no furo 72, que por sua vez transmite os dados

recebidos para cima do furo para a unidade de controle de superfície 40. O sistema de telemetria abaixo no furo 72 também recebe sinais e dados da unidade de controle acima do furo 40 e transmite tais sinais recebidos e dados para os dispositivos abaixo no furo apropriados. A presente invenção
5 pode usar uma técnica de telemetria de pulso de lama para comunicar os dados dos sensores abaixo no furo e dos dispositivos durante as operações de perfuração. Um transdutor 43 colocado na linha de suprimento de lama 38 detecta os pulsos de lama responsivos aos dados transmitidos pelo sistema de telemetria abaixo no furo 72. O transdutor 43 gera sinais elétricos
10 em resposta às variações da pressão da lama e transmite tais sinais via um condutor 45 para a unidade de controle de superfície 40. Outras técnicas de telemetria, tais como técnicas eletromagnéticas e acústicas e/ou qualquer outra técnica adequada podem ser utilizadas para as finalidades dessa invenção. A montagem de perfuração também inclui um sensor direcional.
15 Sem limitar o escopo da invenção, o sensor direcional pode ser um magnetômetro do tipo de inércia.

O princípio da presente invenção é ilustrado na figura 2. Em uma localização adequada na coluna de perfuração 20, uma fonte de voltagem 107 é provida. No exemplo, a fonte de voltagem 107 é mostrada como estando em cima e/ou em um colar da broca 101 e é parte da BHA 59. Isso
20 não é para ser interpretado como uma limitação para a presente invenção. A voltagem pode ser gerada, por exemplo, usando uma bobina toroidal montada em algum lugar sobre e/ou ao redor da coluna de perfuração 20. Essa fonte de voltagem 107 gera uma corrente em uma direção axial na coluna de perfuração 20 que flui na direção da ponta do furador 106 e retorna no lado
25 oposto da fonte de voltagem 107 em uma localização remota. Se a lama é condutora, o colar da broca pode agir como o retorno. Uma conexão elétrica é provida entre a fonte de voltagem 107 e o furador 106 através do colar da broca 101. Para as finalidades da presente invenção, a fonte de voltagem
30 107 é também uma fonte de potência desde que ela gera uma corrente na coluna de perfuração 20. Dentro da ponta do furador 160, um eletrodo 108 é instalado na face do furador. O eletrodo 108 é isolado do resto da BHA 59 e

conectado através de um cabo 109 em um dispositivo de medição de corrente 103 tal como uma bobina toroidal montada firmemente ao redor do cabo 109 ou ao redor de um resistor de medição (não mostrado) em série com o cabo 109. A rota adotada pelo cabo 109 do dispositivo de medição de corrente 103 para o eletrodo 108 pode ser arbitrária, mas o cabo 109 deve ser isolado, tal como por isolamento elétrico adequado, do colar da broca 101. Na outra extremidade do cabo 109 do eletrodo 108, o dispositivo de medição de corrente 103 é conectado no circuito eletrônico localizado no colar da broca 101 da BHA 59. Com essa disposição, o potencial absoluto da ponta do furador 106 (e da porção adjacente do colar da broca 101) é aproximadamente o mesmo que o potencial absoluto do eletrodo 108. Isso mantém uma condição de focalização para a corrente transportada pelo eletrodo 108, como discutido a seguir.

Com a configuração mostrada, a ponta do furador 106 e a porção adjacente do colar da broca 101 agem como um eletrodo de focalização que transporta uma corrente de focalização 105 na direção geralmente indicada como mostrado na figura 2. Deve ser observado que o termo “transporta” é para ser usado no seu significado mais amplo e é planejado para incluir corrente tanto para dentro quanto para fora da formação. Como um resultado da focalização provida pela corrente de focalização 105, uma corrente de medida 111 do eletrodo 108 é geralmente direcionada à frente da ponta do furador 106. É essa direção avançada da corrente de medida 111 que provê a capacidade da presente invenção de ver à frente da ponta do furador.

Uma resistividade aparente ρ da formação terrestre é então fornecida por

$$\rho_{app} = \frac{U}{I} \quad (1),$$

onde U é a voltagem da fonte de voltagem 107 e I é a corrente de medida 111, por exemplo, medida no dispositivo de medição de corrente 103. A resistividade real da formação terrestre é obtida como:

$$\rho = k \frac{U}{I} \quad (2),$$

onde k é um fator de calibração. O fator de calibração pode ser obtido, por

exemplo, por medições de laboratório feitas com a ferramenta em um meio de resistividade conhecida ou pela modelagem.

Uma outra modalidade da presente invenção é ilustrada na figura 3. Como na modalidade da figura 2, uma fonte de voltagem axial 207 é provida. No exemplo, a fonte de voltagem 207 é mostrada como estando sobre e/ou no colar da broca 201 e é parte da BHA 59. Isso não é para ser interpretado como uma limitação para a presente invenção. A voltagem pode ser gerada, por exemplo, usando uma bobina toroidal ao redor da coluna de perfuração 20. Essa fonte de voltagem 207 gera uma corrente em uma direção axial da coluna de perfuração 20 que flui na direção da ponta do furador 206 e retorna no lado oposto da fonte de voltagem 207 em uma localização remota (ver acima). Uma conexão elétrica é provida entre a fonte de voltagem 207 e o furador 206 através do colar da broca 203. Dentro da ponta do furador 206, um eletrodo 208 é instalado em um lado da ponta do furador 206. Isso está em contraste com a modalidade da figura 2, onde o eletrodo 108 fica na face do furador. O eletrodo 208 é isolado do resto da BHA 59 e conectado através de um cabo 209 em um dispositivo de medição de corrente 203, tal como uma bobina toroidal montada firmemente ao redor do cabo 209 ou ao redor de um resistor de medição (não mostrado) em série com o cabo 209. A rota adotada pelo cabo 209 do dispositivo de medição de corrente 203 para o eletrodo 208 pode ser arbitrária, mas o cabo 209 deve ser isolado, tal como por isolamento elétrico adequado, do colar da broca 201. Na outra extremidade do cabo 209 do eletrodo 208, o dispositivo de medição de corrente 203 é conectado em circuito eletrônico localizado no colar da broca 201 da BHA 59.

A corrente de focalização da ponta do furador 206 e de uma porção adjacente do colar da broca 201 é indicada por 205. Devido ao fato que o eletrodo 208 fica no lado da ponta do furador 206, a corrente de medida 211 flui em uma direção que está próxima de ser radial. Essa direção da corrente de medida 211 provê a ferramenta de registro com sensibilidade azimutal.

Como seria conhecido para aqueles primeiros na técnica, medi-

ções de resistividade feitas por um dispositivo MWD provêm uma melhor indicação da resistividade da formação (ou, de maneira equivalente, condutividade) do que as medições por linhas de fios. Isso é devido ao fato que as medições por linhas de fios, que são feitas depois de um tempo decorrido da perfuração do poço, são afetadas pela invasão da formação pelos fluidos de broquear. Sob esse aspecto, medições de resistividade feitas na ponta do furador são até mesmo melhores.

A fim de demonstrar a capacidade de “visão à frente do furador” da invenção, uma modelagem numérica foi executada. A modelagem inclui uma comparação com uma ferramenta da técnica anterior, que é representada somente por seu espaçamento de transmissor e receptor. A figura 4 mostra o modelo de uma ferramenta de registro 300 que foi usada. A modelagem foi feita para um furo 26 de 31,12 cm de diâmetro (12,25 polegadas). O transmissor 303 gera uma voltagem DC que é seguida por uma corrente através da coluna de perfuração 301. A corrente retorna na seção de retorno 302 para o transmissor 303. Toda a coluna de perfuração 301 é assumida idealmente como condutiva e livre de perda. Portanto, o potencial abaixo do transmissor 303 na direção do furador 309 é igual na ferramenta de registro 300. A corrente pode ser determinada nas áreas de superfície da ferramenta. Dentro do modelo, a montagem do furo de sondagem completa (BHA) 59 (exceto pela ponta do furador 309) é circundada pela lama de perfuração 31 de resistividade de lama específica que é geralmente diferente da resistividade da formação. A simulação começa em uma formação de 1 Ω -m 304 de resistividade de formação. Uma outra formação com uma resistividade diferente 306 é deslocada na direção vertical a fim de simular a penetração do furador e da ferramenta através do limite entre as duas formações 307. Durante a penetração, a corrente através do receptor 305, bem como através de um eletrodo de medida 311, é gravada.

A figura 5 mostra a mudança de corrente no eletrodo do furador comparado com a técnica convencional onde a corrente do furador é gravada no receptor de acordo com o modelo. A abscissa é a resposta da corrente expressa como uma porcentagem da resposta máxima. A ordenada é a pro-

fundidade em metros (m). As curvas 401 (existem cinco delas) são para várias modalidades ilustrativas da presente invenção com espaçamentos de 0 m, 0,28 m, 0,87 m, 2,11 m e 4,75 m, respectivamente entre a ponta do furador e o receptor. A BHA 59 é movida de uma formação de 1 Ω -m de resistividade de formação para uma formação de 100 Ω -m de resistividade de formação. Valores negativos de profundidade significam que a BHA 50 está completamente dentro da formação de 1 Ω -m de resistividade, o valor 0 de profundidade significa que o furador toca o limite da formação de 100 Ω -m de resistividade e valores positivos de profundidade representam posições da face do furador na formação de 100 Ω -m de resistividade. A corrente é normalizada para a corrente na formação de 1 Ω -m de resistividade em -2m (100%). As curvas 403, 405, 407, 409 e 411 são respostas de corrente correspondentes no receptor para o dispositivo simulado da técnica anterior.

Como pode ser observado na figura 5, as respostas de corrente 401 para várias modalidades ilustrativas da presente invenção são quase independentes da distância entre a ponta do furador 309 e o receptor 305. Um pequeno efeito de proteção pode ser observado quando a distância entre o furador e o transmissor é alongada. Entretanto, o eletrodo do furador é capaz de detectar mudanças de corrente de 20% em meio metro antes que o furador toque a nova formação, enquanto a tecnologia convencional usando um receptor de anel detecta, na melhor das hipóteses (ver curva 403), somente uma mudança de 10%. A marca de 50% é alcançada em 25 cm antes da nova formação, para a presente invenção, enquanto as técnicas da técnica anterior mostram essa mudança somente depois que o furador penetrou a nova formação. Quando a face do furador toca a nova formação, o eletrodo do furador indica o valor final da mudança de corrente enquanto a técnica convencional mede o valor final mais do que 0,5 m depois do novo limite da formação. Todos os resultados se tornam piores para a medição do receptor de anel se espaço é adicionado entre o furador e o receptor de anel, como mostrado, por exemplo, pela deterioração da curva 403 para a curva 411.

Na prática, um modelo de resistividade da formação terrestre é

definido. Esse pode ser feito usando medições de resistividade de um poço previamente perfurado na proximidade, ou a partir de outras informações. Com base nesse modelo de resistividade, a resistividade medida pela ferramenta de registro 300 da presente invenção pode ser usada para estimar uma distância para uma interface na formação terrestre. A interface pode ser um limite de leito entre formações tendo resistividades diferentes ou ela pode ser uma interface de fluido em uma formação com fluidos de resistividade diferente em lados opostos da interface. A ferramenta de registro 300 de várias modalidades ilustrativas da presente invenção é assim usada para determinar um parâmetro de interesse da formação terrestre tal como uma resistividade e/ou uma distância para uma interface à frente da ponta do furador na formação terrestre.

A capacidade da ferramenta de registro 300 da presente invenção ver à frente da ponta do furador pode ser utilizada na navegação do reservatório. Quando as medições são feitas com uma montagem de sensor incluindo a ferramenta de registro 300 montada na BHA 59 durante as operações de perfuração, a distância determinada pode ser usada por um processador abaixo no furo para alterar a direção de perfuração do furo de sondagem 26. Alternativamente e/ou adicionalmente, a informação da distância pode ser telemetrada para a superfície onde um processador de superfície 40 e/ou um operador de perfuração pode controlar a direção de perfuração. O método pode também ser usado nas aplicações com linha de fios. Para aplicações com linha de fios, a sonda deve ficar no fundo do furo para determinar as distâncias para limites de leito distantes do furo de sondagem 26. Isso pode ser útil na conclusão do poço, por exemplo, no projeto das operações de fratura para evitar a propagação de fraturas além de uma distância especificada. Se o reservatório é detectado à frente do furador, um invólucro poderia ser instalado antes da penetração.

Quando sensores de orientação são usados para determinar a orientação da ponta do furador 50, essa informação de orientação pode ser combinada com a informação de resistividade obtida a partir das medições de corrente e voltagem para obter uma estimativa da variação azimutal da

resistividade da formação terrestre. Uma causa comum da variação da resistividade azimutal é a presença de camadas finas de resistividades diferentes na formação terrestre. Quando essas são inclinadas para o furo de sondagem 26, isso resultará em uma variação azimutal na resistividade (tipicamente como uma variação senoidal) quando medida pelo dispositivo, tal como a
5 ferramenta de registro 300, da presente invenção. Essa variação senoidal pode ser detectada usando métodos de processamento conhecidos fora do "sinal" ruidoso. Sensores de orientação adequados podem ficar localizados na coluna de perfuração 20 perto da ponta do furador 50, ou no eixo de
10 transmissão do motor de perfuração 55, se um é usado. Tais sensores de orientação devem ser colocados perto o suficiente da ponta do furador 50, de modo que as medições de orientação são indicativas da orientação da ponta do furador 50 e não são afetadas pela torção da coluna de perfuração 20 ou do eixo de transmissão do motor 55. A imagem de resistividade pode
15 também ser usada para geodirigir pela comparação de uma imagem obtida das medições com uma imagem modelada derivada de um modelo de sub-superfície.

As medições feitas abaixo no furo podem ser gravadas em um meio adequado. Os dados podem também ser compactados e transmitidos
20 para uma localização na superfície. Na modalidade da invenção ilustrada na figura 3, um método de compactação de dados revelado no pedido de patente US número serial 10/892.011 (agora patente US XXXXXXX) de Hassan e outros tendo o mesmo procurador que a presente invenção e os conteúdos da qual são incorporados aqui por referência, pode ser usado. O método
25 revelado em Hassan para finalidades exemplares somente e outros métodos podem ser usados. Hassan revela um método e aparelho para registrar uma formação terrestre e adquirir a informação de subsuperfície onde uma ferramenta de registro é transportada no furo de sondagem para obter parâmetros de interesse. Os parâmetros de interesse obtidos podem ser valores de
30 densidade, acústicos, magnéticos ou elétricos como conhecido na técnica. Os parâmetros de interesse podem ser transmitidos para a superfície em uma pluralidade de resoluções usando um método de compactação de ima-

gem de múltipla resolução. Parâmetros de interesse são transformados em uma pluralidade de funções de custo dos quais as regiões de interesse são determinadas para resolver características dos aspectos de interesse dentro das regiões. Características de aspecto podem ser determinadas para obter

5 posições de tempo ou profundidade dos limites de leito e o ângulo de imersão do furo de sondagem relativos às estruturas de subsuperfície, como orientação da estrutura de subsuperfície e furo de sondagem do poço. Características dos aspectos incluem tempo, profundidade e geometrias da subsuperfície tais como imersão estrutural, espessura e litologias. Na superfície,

10 uma imagem da formação pode ser construída. Com qualquer uma das duas modalidades discutidas acima, um registro de resistividade pode ser produzido. Além disso, existem vários usos bem-conhecidos para medições de resistividade: esses incluem determinação da saturação de hidrocarboneto da formação. O conhecimento dessa saturação é extremamente útil no de-

15 desenvolvimento do reservatório.

O processamento dos dados pode ser feito por um processador abaixo no furo para fornecer medições corrigidas substancialmente em tempo real. Alternativamente, as medições poderiam ser gravadas abaixo no furo, recuperadas quando a coluna de perfuração 20 é desengatada e processadas usando o processador de superfície 40. Está implícito no controle e processamento dos dados o uso de um programa de computador em um meio adequado legível por máquina que possibilita que o processador execute o controle e o processamento. O meio legível por máquina pode incluir

20 ROMs, EPROMs, EEPROMs, memórias flash e discos óticos.

25 Embora a revelação precedente seja direcionada para as modalidades preferidas da presente invenção, várias modificações serão evidentes para aqueles versados na técnica. É planejado que todas as variações dentro do escopo e do espírito das reivindicações anexas sejam abrangidas pela revelação precedente.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho para fazer medições de um parâmetro de interesse de uma formação terrestre durante a perfuração de um furo de sondagem nela, o aparelho compreendendo:

5 (a) uma ponta do furador configurada para ser transportada em uma montagem do furo inferior (BHA) configurada para perfurar o furo de sondagem,

(b) um eletrodo na ponta do furador configurado para transportar uma corrente de medida para dentro da formação terrestre, o eletrodo sendo
10 eletricamente isolado da ponta do furador,

(c) uma fonte de potência configurada para gerar a corrente de medida e manter a ponta do furador em um potencial tendo um valor substancialmente igual a um potencial do eletrodo e

(d) um processador configurado para:

15 (A) usar o valor do potencial e um valor da corrente para estimar um valor do parâmetro de interesse e

(B) gravar o valor estimado do parâmetro de interesse em um meio adequado.

2. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que o parâmetro de interesse é pelo menos um entre (i) uma resistividade da formação
20 terrestre, (ii) uma condutividade da formação terrestre, (iii) uma distância para uma interface na formação terrestre e (iv) uma imagem da resistividade da formação.

3. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, também compreendendo um sensor de orientação no BHA, em que o eletrodo fica em um
25 lado da ponta do furador e em que o processador é também configurado para comprimir e telemetrar uma imagem da resistividade da formação para uma localização de superfície.

4. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que o processador é também configurado para estimar o valor do parâmetro de interesse
30 usando um fator de calibração determinado a partir de uma medição em um meio de resistividade conhecida.

5. Aparelho, de acordo com a reivindicação 3, em que o sensor de orientação é selecionado do grupo consistindo de: (i) um acelerômetro, (ii) um magnetômetro e (iii) um giroscópio.

6. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que a fonte de potência também compreende uma bobina toroidal.

7. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, também compreendendo um dispositivo de medição de corrente configurado para prover o valor da corrente de medida.

8. Aparelho, de acordo com a reivindicação 1, em que o processador é também configurado para controlar a direção de perfuração do BHA com base em pelo menos um entre: (i) uma distância determinada para uma interface na formação terrestre e (ii) uma imagem da resistividade da formação.

9. Método de medição de um parâmetro de interesse de uma formação terrestre durante a perfuração de um furo de sondagem nela, o método compreendendo:

(a) transportar uma ponta do furador em uma montagem do furo inferior (BHA) para dentro do furo de sondagem,

(b) transportar uma corrente de medida para dentro da formação terrestre, usando um eletrodo sobre e eletricamente isolado da ponta do furador,

(c) focalizar a corrente de medida,

(d) usar um valor de um potencial do eletrodo e um valor da corrente para estimar um valor do parâmetro de interesse e

(e) gravar o valor estimado do parâmetro de interesse em um meio adequado.

10. Método de acordo com a reivindicação 9, em que focalizar a corrente de medida também compreende manter a ponta do furador em um potencial tendo um valor substancialmente igual ao potencial do eletrodo.

11. Método de acordo com a reivindicação 9, em que o parâmetro de interesse é pelo menos um entre (i) uma resistividade da formação terrestre, (ii) uma condutividade da formação terrestre, (iii) uma distância

para uma interface na formação terrestre e (iv) uma imagem da resistividade da formação.

12. Método de acordo com a reivindicação 9, também compreendendo:

- 5 (i) medir uma orientação do BHA,
(ii) transportar a corrente de medida de um lado da ponta do furador e
(iii) comprimir e telemetrar a imagem da resistividade da formação para uma localização de superfície.

10 13. Método de acordo com a reivindicação 9, em que estimar o valor do parâmetro de interesse também compreende usar um fator de calibração determinado a partir de uma medição em um meio de resistividade conhecida.

15 14. Método de acordo com a reivindicação 12, em que medir a orientação do BHA também compreende usar um sensor de orientação que é selecionado do grupo consistindo de (i) um acelerômetro, (ii) um magnetômetro e (iii) um giroscópio.

15 15. Método de acordo com a reivindicação 9, também compreendendo gerar a corrente de medida usando uma bobina toroidal.

20 16. Método de acordo com a reivindicação 9, também compreendendo usar um dispositivo de medição de corrente para prover o valor da corrente de medida.

25 17. Método de acordo com a reivindicação 9, também compreendendo ajustar um invólucro no furo de sondagem com base em uma distância determinada para uma interface na formação terrestre.

18. Meio legível por computador para uso com um aparelho para fazer medições de um parâmetro de interesse de uma formação terrestre durante a perfuração de um furo de sondagem nela, o aparelho compreendendo:

- 30 (a) uma ponta do furador transportada em uma montagem do furo inferior (BHA) configurada para perfurar o furo de sondagem,
(b) um eletrodo na ponta do furador configurado para transportar

uma corrente de medida para dentro da formação terrestre, o eletrodo sendo eletricamente isolado da ponta do furador e

(c) uma fonte de potência configurada para gerar a corrente de medida e manter a ponta do furador em um potencial tendo um valor substancialmente igual a um potencial do eletrodo,

o meio compreendendo instruções que possibilitam que um processador:

(d) use o valor do potencial e um valor da corrente para estimar um valor do parâmetro de interesse e

(e) grave o valor estimado do parâmetro de interesse em um meio adequado.

19. Meio, de acordo com a reivindicação 18, também compreendendo pelo menos um entre (i) uma ROM, (ii) uma EPROM, (iii) uma EEPROM, (iv) uma memória flash e (v) um disco ótico.

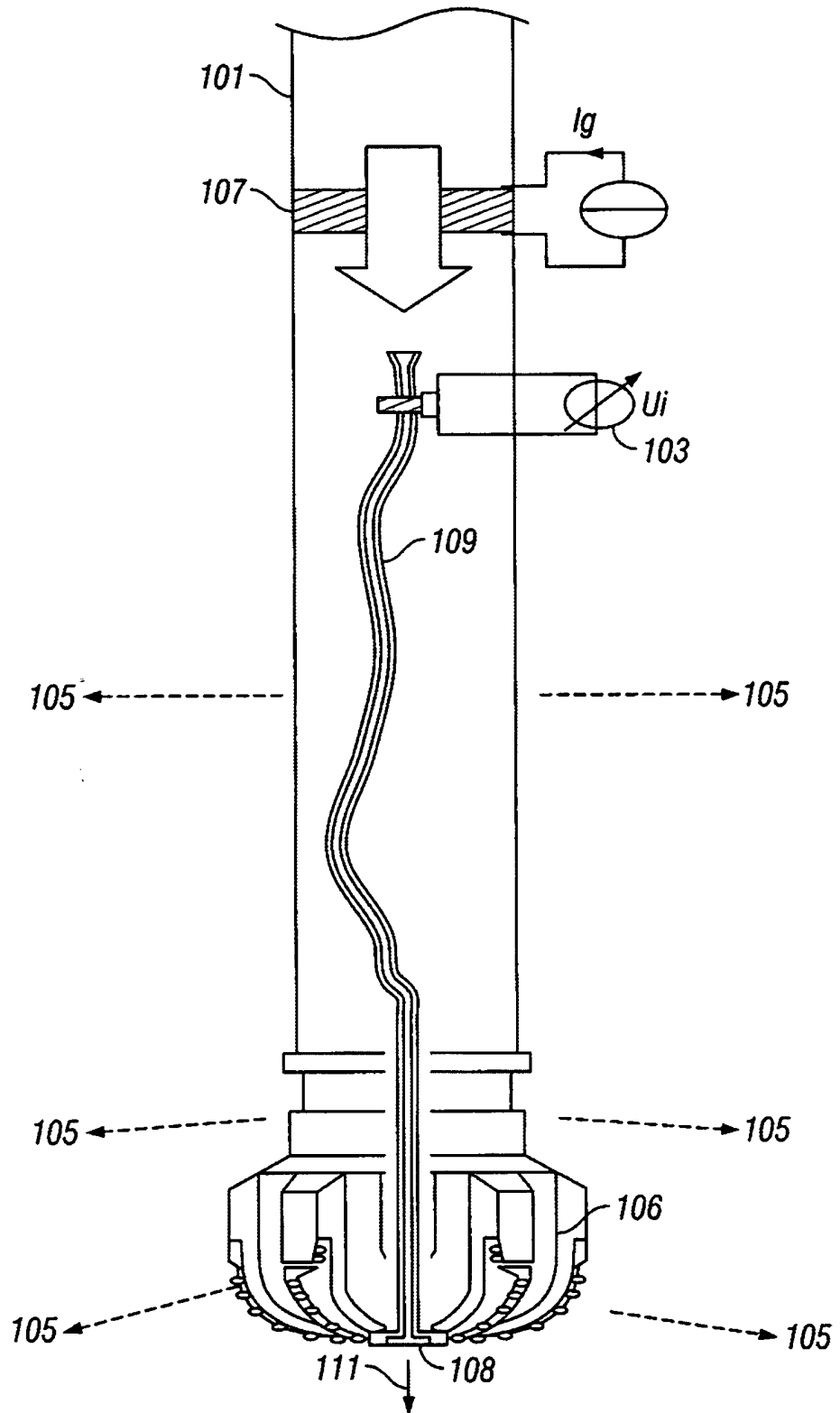


FIG. 2

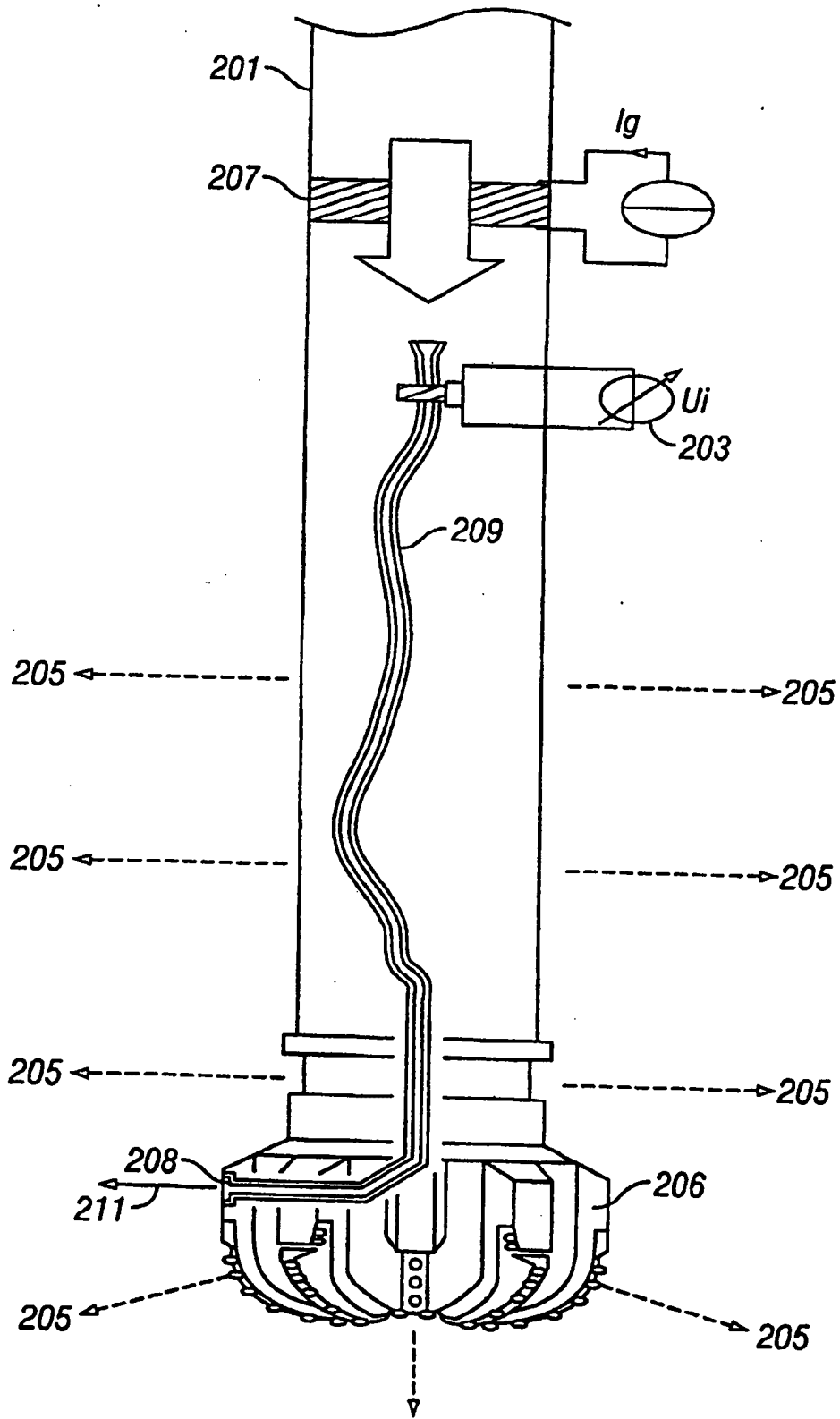


FIG. 3

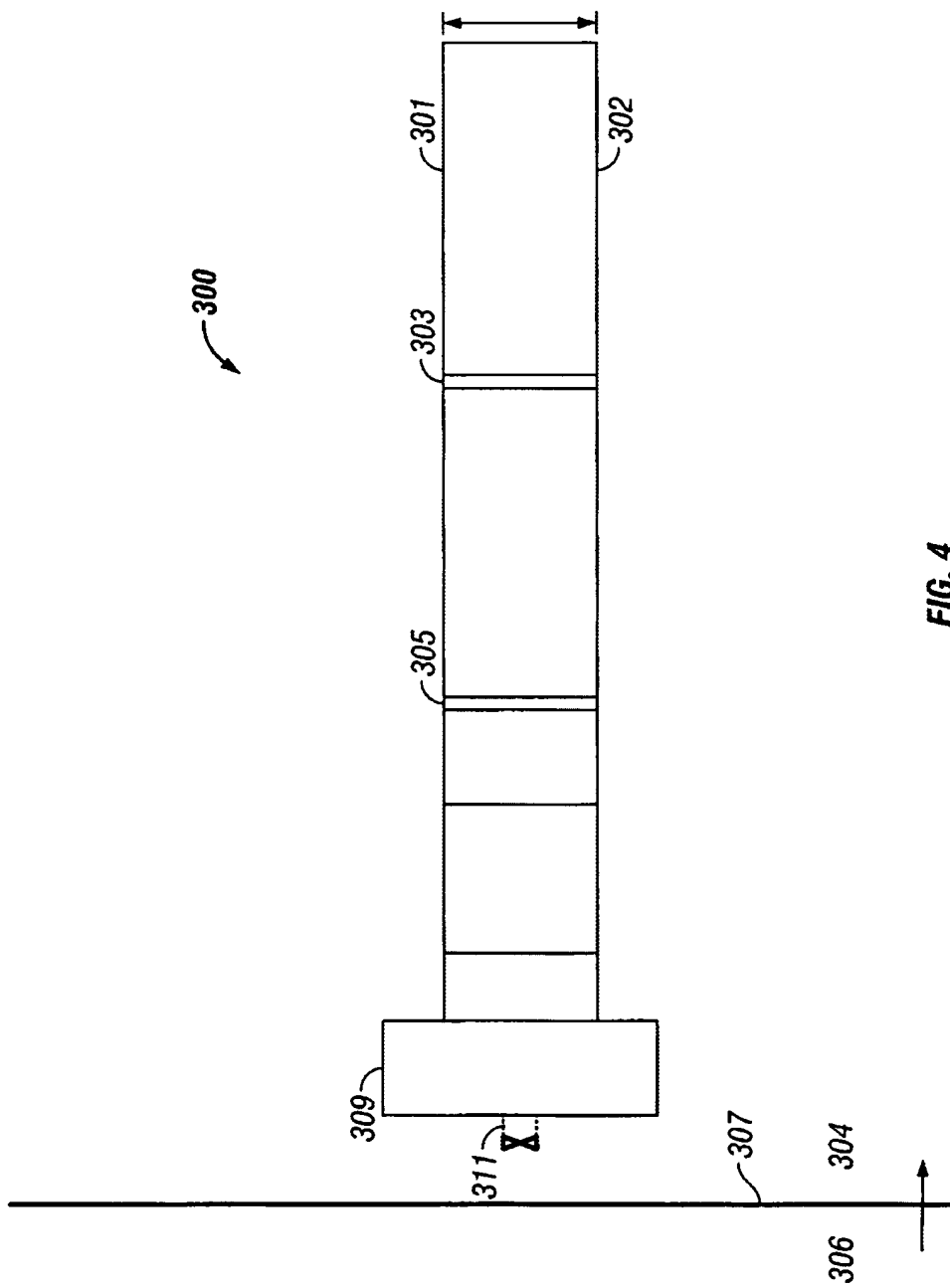
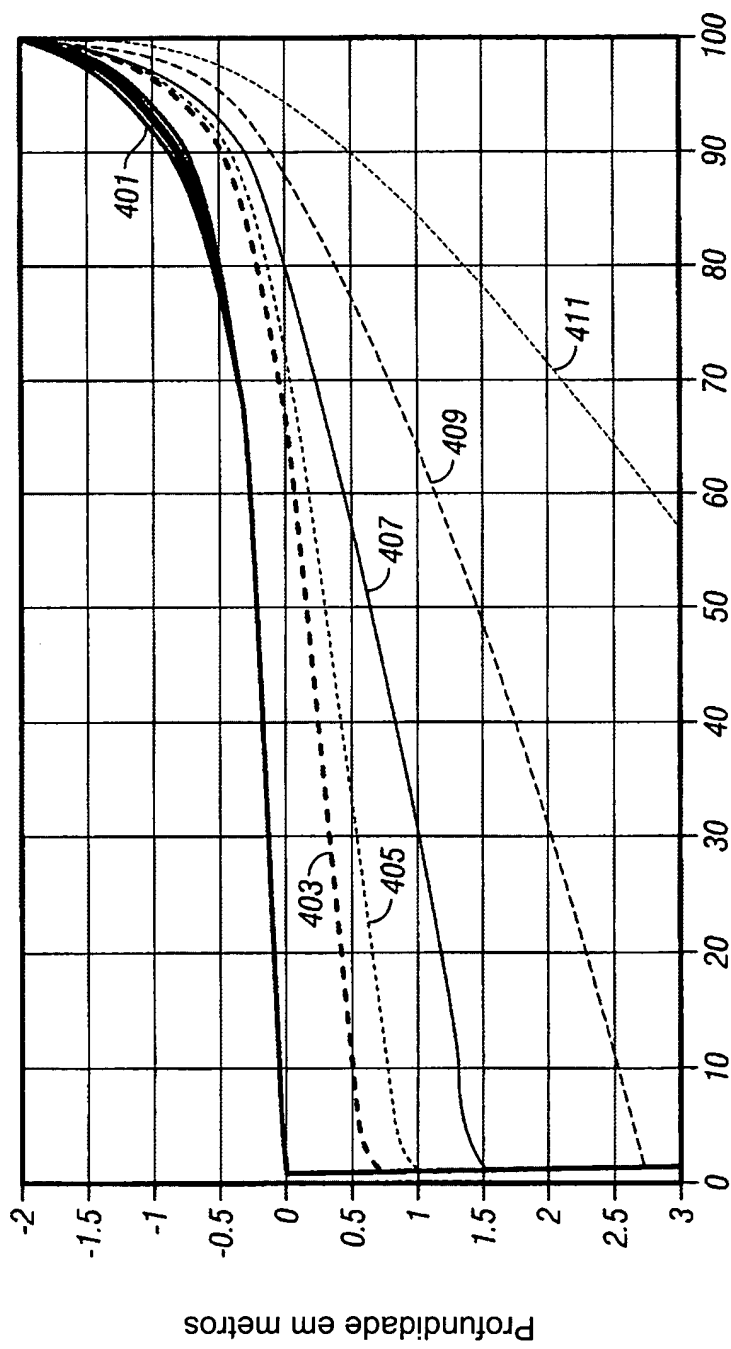


FIG. 4



resposta da corrente em %

FIG. 5

RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO E APARELHO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE DA FORMAÇÃO À FRENTE DO FURADOR E AZIMUTAL NO FURADOR"**.

- 5 A presente invenção refere-se a um método e aparelho para obter uma medição de resistividade de uma formação terrestre que circunda um furo de sondagem em um dispositivo MWD, que usa a ponta do furador e a porção adjacente do colar da broca como um eletrodo de focalização para focalizar a corrente de medida proveniente de um eletrodo de medida na
- 10 face ou lado da ponta do furador. Isso provê a capacidade de enxergar à frente de, e de modo azimutal, ao redor da ponta do furador.