



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

(11) PI 0314581-6 B1

(22) Data do Depósito: 18/09/2003

(45) Data de Concessão: 09/05/2017



(54) Título: FERRAMENTA DE FUNDO DE FURO PARA MEDIR RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA, E, MÉTODO PARA MEDIR RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

(51) Int.Cl.: H01Q 7/08

(30) Prioridade Unionista: 25/09/2002 US 10/254,184

(73) Titular(es): HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.

(72) Inventor(es): MICHAEL S. BITTAR; JESSE K. HENSARLING

“FERRAMENTA DE FUNDO DE FURO PARA MEDIR RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA, E, MÉTODO PARA MEDIR RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA”

Campo da Invenção

5 As preferidas formas de realização da presente invenção são dirigidas geralmente a ferramentas de fundo de furo. Mais particularmente, as formas de realização preferidas são dirigidas a antenas que permitem medições de resistividade por onda eletromagnética, azimutalmente sensitivas, de formações envolvendo um poço não revestido, e formação de
10 imagens do poço não revestido com base em resistividade.

Antecedentes da Invenção

 A figura 1 exemplifica uma ferramenta de diagrafia do tipo de indução, da arte pertinente. Em particular, a ferramenta 10 está dentro de um poço não revestido 13, como um dispositivo de cabo ou como parte de uma
15 instalação de fundo de furo em um processo de medição-durante-perfuração (MWD). Ferramentas de diagrafia-durante-perfuração por indução da arte pertinente tipicamente compreendem um enlace de antena de transmissão 12, o qual compreende um enlace único estendendo-se em torno da circunferência da ferramenta 10, e duas ou mais antenas de recepção 14A e 14B. As antenas
20 de recepção 14A, B são geralmente espaçadas uma da outra e da antena de transmissão 12, e as antenas de recepção compreendem a mesma estrutura de antena de enlace que a usada para a antena de transmissão 12.

 A antena de enlace 12, e as antenas de enlace de recepção 14A, B, usadas na arte pertinente não são azimutalmente sensitivas. Em outras
25 palavras, a onda eletromagnética que se propaga a partir da antena de transmissão 12 se propaga em todas direções simultaneamente. Da mesma maneira, as antenas de recepção 14A, B não são azimutalmente sensitivas. Desta maneira, ferramentas tais como aquelas mostradas na figura 1 não são adequadas para fazer leituras azimutalmente sensitivas, como para a formação

de imagem do fundo do poço. Todavia, ferramentas de propagação de onda, tais como aquelas mostradas na figura 1, as quais operam usando propagação de radiação eletromagnética ou por onda eletromagnética (um percurso exemplificativo da propagação de onda mostrado em linhas tracejadas), são capazes de operação em um poço não revestido utilizando fluido de perfuração baseado em óleo (não condutor), um fato não atingível pelas ferramentas do tipo de condução.

A figura 2 mostra uma ferramenta de diagrafia do tipo de condução, da arte pertinente. Em particular, a figura 2 mostra uma ferramenta 20 disposta no interior de um poço não revestido 22. A ferramenta 20 poderia ser um dispositivo de cabo, ou uma parte de uma instalação de fundo de furo de um processo de MWD. A ferramenta do tipo de condução 20 da figura 2 pode compreender um enrolamento de transmissão toroidal ou enrolamento de fonte 24, e dois enrolamentos toroidais secundários 26 e 28 deslocados daquele. Diferentemente da ferramenta de indução da figura 1, a ferramenta de condução exemplificada na figura 2 opera por meio da indução de um fluxo de corrente dentro do poço não revestido 22 e através da formação envolvente 30. Assim, esta ferramenta é operacional somente em ambientes onde o fluido dentro do poço não revestido 22 é suficientemente condutor, tal como fluidos de perfuração baseados em água salgada. A fonte 24 e os toróides de medição 26 e 28 são usados em combinação para determinar uma quantidade de fluxo de corrente, sobre ou fora da ferramenta 20. O toróide de fonte 24 induz um fluxo de corrente axialmente dentro da ferramenta 20, como indicado pela linha tracejada 31. Uma porção da corrente axial flui sobre (ou fora do) do toróide 28 embaixo da ferramenta (exemplificado pela linha tracejada 33), uma porção flui sobre (ou fora da) o corpo de ferramenta entre os toróides 26 e 28 (exemplificado pela linha tracejada 35), e também alguma da corrente flui sobre a (ou fora da) ferramenta em locais particulares, como o eletrodo de fundo 32 (exemplificado pela linha tracejada 37). Desta

maneira, a ferramenta 20 da figura 2 determina a resistividade de uma formação envolvente pelo cálculo de uma quantidade de fluxo de corrente induzido na formação quando medida por uma diferença em fluxo de corrente entre os toróides 28 e 26. Como será apreciado por uma pessoa de conhecimento comum na arte, a medição de corrente feita pelos toróides 26 e 28 não é azimutalmente sensível; todavia, para ferramentas que incluem um eletrodo de fundo 32, é possível medir corrente que flui sobre ou fora do fundo 32, que é azimutalmente sensível.

Assim, ferramentas de propagação de onda, tais como aquelas mostradas na figura 1, podem ser usadas em lodos de perfuração baseados em óleo, mas não são azimutalmente sensíveis. As ferramentas de condução, tais como aquelas mostradas na figura 2, são apenas operacionais em ambientes condutores (é notado que a maioria de poços perfurados à época da descrição deste pedido usa um fluido de propulsão não condutor), mas podem ter a capacidade de fazer medições de resistividade azimutalmente sensíveis. Embora cada uma da ferramenta de propagação de onda da figura 1 e ferramenta de condução da figura 2 tenha seu uso em circunstâncias particulares, nenhum dispositivo é capaz de realizar medições de resistividade azimutalmente sensíveis em fluidos de perfuração baseados em óleo.

Desta maneira, o que é necessário na arte é um sistema e método pertinente para permitir medições azimutalmente sensíveis para formação de imagens de poços não revestidos ou para medições de resistividade de formação.

Breve Sumário de Algumas das Formas de Realização Preferidas

Os problemas notados acima são solucionados em grande parte por meio de uma antena baseada em placa de circuito impresso (PCB), de camadas múltiplas, robustecida, adequada para uso no fundo de furo. Mais particularmente, a descrição revela uma antena tendo um núcleo de ferrita com enrolamentos em torno do núcleo de ferrita criado por meio de uma

pluralidade de trilhas condutoras sobre as placas de circuitos superior e inferior, acopladas uma à outra através das várias camadas de PCB. A antena com núcleo de ferrita, baseada em PCB, pode ser usada ou como uma antena de fonte ou como antena de recepção, e, por causa de seu tamanho, é capaz de fazer leituras azimutalmente sensitivas.

Mais particularmente, a antena com núcleo de ferrita, baseada em PCB, robustecida, pode ser utilizada sobre uma ferramenta de fundo de furo para fazer medições de resistividade azimutalmente sensitivas, e também pode ser usada para fazer imagens de parede de poço não revestido baseadas em resistividade. Em uma primeira forma de realização, uma ferramenta compreende uma antena de enlace em uma primeira elevação, usada como uma fonte eletromagnética. Em um local espaçado a partir de da antena de enlace, uma pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB é acoplada com a ferramenta ao longo de sua circunferência. A antena de enlace gera um sinal eletromagnético que é detectado por cada uma da pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB. O sinal eletromagnético recebido pelas antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB está, cada, em direções azimutalmente sensitivas, com direcionalidade ditada, por alguma extensão, pela colocação física da antena sobre a ferramenta. Se o espaçamento entre a antena de enlace e a pluralidade de antenas baseadas em PCB for relativamente pequeno (na ordem de seis polegadas), então a ferramenta pode realizar formações de imagem de poço não revestido. Usando um maior espaçamento entre a antena de enlace e a pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB, e uma segunda pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB, são possíveis medições de resistividade por onda eletromagnética, azimutalmente sensitivas, da formação envolvente.

Em uma segunda forma de realização, uma primeira pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB é espaçada em

torno da circunferência da ferramenta em uma primeira elevação e usada como uma fonte eletromagnética. Uma segunda e terceira pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB são espaçadas em torno da circunferência da ferramenta em uma segunda e terceira elevações, respectivamente. A primeira pluralidade de antenas baseadas em PCB pode ser usada sequencialmente, ou simultaneamente, para gerar sinais eletromagnéticos que se propagam para e através da formação. As ondas eletromagnéticas podem ser recebidas por cada uma da segunda e terceira pluralidades de antenas baseadas em PCB, novamente permitindo determinações de resistividade azimutalmente sensíveis.

Visto que as antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB da forma de realização preferida são capazes de receber propagação por onda eletromagnética em uma maneira azimutalmente sensível, e visto que estas antenas são operacionais na filosofia de uma ferramenta do tipo de indução, é possível utilizar as antenas para fazer leituras azimutalmente sensíveis em ambientes de fluido de perfuração onde ferramentas condutoras não são operáveis.

Os dispositivos e métodos descritos compreendem uma combinação de características e vantagens que permitem superar as deficiências dos dispositivos da arte anterior. As várias características acima descritas, bem como outras características, ficarão claramente aparentes para aqueles especializados na arte quando da leitura da seguinte descrição detalhada, e por meio da referência aos desenhos acompanhantes.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Para uma descrição detalhada das formas de realização preferidas da invenção, referência será agora feita aos desenhos acompanhantes, nos quais:

a figura 1 mostra uma ferramenta do tipo de indução, da arte pertinente;

a figura 2 mostra uma ferramenta do tipo de condução, da arte pertinente;

a figura 3 mostra uma vista em perspectiva de uma antena com núcleo de ferrita, baseada em PCB, de uma forma de realização;

5 a figura 4 mostra ainda uma outra antena com núcleo de ferrita, baseada em PCB;

a figura 5 mostra uma vista explodida da forma de realização de uma antena com núcleo de ferrita, baseada em PCB, mostrada na figura 3;

10 A figura 6 mostra uma forma de realização de uso de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB em uma ferramenta de fundo de furo;

A figura 7 mostra uma segunda forma de realização de uso de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB em uma ferramenta de fundo de furo;

15 A figura 8 mostra ainda uma outra implementação de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB na ferramenta de fundo de furo;

A figura 9 mostra a colocação das antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB em recessos; e

20 A figura 10 mostra uma tampa ou cobertura para elevar a sensibilidade direcional de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB, quando usadas como receptores.

Notação e Nomenclatura

25 Certos termos são usados através de toda a descrição e reivindicações que seguem para se referirem a particulares componentes do sistema. Este documento não tem a intenção de distinguir entre componentes que diferem no nome, mas não em função.

Na seguinte discussão e nas reivindicações, os termos “incluindo” e “compreendendo” são usados em uma maneira não restritiva, e, desta maneira, devem ser interpretadas para significar “incluindo, mas não limitado a...”. Também, os termos “se acoplam” ou “se acopla” são destinados

a significar tanto uma conexão direta quanto uma indireta. Assim, se um primeiro dispositivo se acopla a um segundo dispositivo, esta conexão pode ser através de conexão direta mecânica ou elétrica (conforme o contexto subentender), ou através de uma conexão indireta mecânica ou elétrica através de outros dispositivos e conexões.

Descrição Detalhada das Formas de Realização Preferidas

Este relatório descreve uma antena com núcleo de ferrita, baseada em placa de circuito impresso (PCB), robustecida, para transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas. A descrita antena baseada em PCB foi desenvolvida no contexto de ferramentas de diagrapia de fundo de furo e, mais particularmente, no contexto de realização de leituras de resistividade por onda eletromagnética, azimutalmente sensitivas. Não obstante a construção da antena baseada em PCB e seu uso sejam descritos no contexto de fundo de furo, isto não deve ser lido ou entendido como uma limitação à aplicabilidade da antena baseada em PCB.

A figura 3 mostra uma vista em perspectiva de uma antena com núcleo de ferrita baseada em PCB das formas de realização preferidas. Em particular, a antena com núcleo de ferrita baseada em PCB compreende uma placa superior 50 e uma placa inferior 52. A placa superior 50 compreende uma pluralidade de trilhas elétricas 54 que atravessam substancialmente paralelamente sua largura ou pequena dimensão. Na forma de realização mostrada na figura 3, dez de tais trilhas 54 são mostradas; todavia, qualquer número de trilhas pode ser usado, dependendo do número de espiras requeridas de uma antena específica. Na extremidade de cada trilha 54 está previsto um orifício de contato, por exemplo os orifícios 56A, B, os quais se estendem através da placa superior 50. Como será discutido mais detalhadamente abaixo, o contato elétrico entre a placa superior 50 e a placa inferior 52 preferivelmente tem lugar através dos orifícios de contato na extremidade das trilhas.

A figura 4 mostra uma vista em perspectiva da antena da figura 3 com a placa 52 em uma orientação superior. Similarmente à placa 50, a placa 52 compreende uma pluralidade de trilhas 58, com cada trilha tendo em suas extremidades um orifício de contato, por exemplo os orifícios 60A e B. Diferentemente da placa 50, todavia, as trilhas 58 sobre a placa 52 não são substancialmente paralelos às menores dimensões da placa, mas, em vez disto, estão em um leve ângulo. Desta maneira, nesta forma de realização, a placa 52 executa uma função de transposição, de modo que corrente elétrica se deslocando em uma das trilhas 54 sobre a placa 50 transpõe a trilha elétrica 58 da placa 52, desta maneira forçando a corrente a fluir para o próximo enlace do circuito total.

Com referência de certa forma simultaneamente às figuras 3 e 4, entre a placa 50 e a placa 52 reside uma pluralidade de placas intermediárias 62. A função primária de uma placa intermediária 62 é de conter o material de ferrita entre a placa 50 e placa 52, bem como de prover percursos de condução para as várias espiras de trilhas elétricas em torno do material de ferrita. Nas vistas em perspectiva das figuras 3 e 4, a placa 52 é alongada com respeito à placa 50, e tem assim uma seção alongada 64 (figura 3). Nesta forma de realização, a seção alongada 64 da placa 52 tem uma pluralidade de contatos elétricos, mais especificamente pontos de contato 66 e 68. Nesta forma de realização, os pontos de contato 66 e 68 são o local onde contato elétrico é feito com a antena com núcleo de ferrita baseada em PCB. Desta maneira, estes são os locais onde o circuito de transmissão é acoplado com a antena para a finalidade de gerar ondas eletromagnéticas no interior do poço não revestido. Da mesma maneira, vez que as antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB podem ser também usadas como antenas de recepção, os pontos de contato elétrico 66 e 68 são o local onde o circuito de recepção é acoplado com a antena.

A figura 5 mostra uma vista em perspectiva explodida da

antena com núcleo de ferrita baseada em PCB das figuras 3 e 4. Em particular, a figura 5 mostra a placa 50 e a placa 52, com os vários componentes normalmente acoplados entre as duas placas, em vista explodida. A figura 5 mostra três placas intermediárias 62A, B e C, embora qualquer número possa ser usado com base na espessura das placas, e na quantidade de material de ferrita a ser contido nas mesmas, e se é desejável completamente selar o ferrita no interior das placas. Cada uma das placas intermediárias 62 compreende um orifício central 70, e uma pluralidade de orifícios de interconexão 72 estendendo-se ao longo da dimensão longitudinal. Quando as placas intermediárias 62 são empilhadas, seus orifícios centrais formam uma cavidade interna onde uma pluralidade de elementos de ferrita 74 é colocada. As placas intermediárias 62, com o material de ferrita 74, são ensanduichadas entre a placa 50 e a placa 52. Em uma forma de realização, o contato elétrico entre as trilhas 54 da placa 50 e as trilhas 58 da placa 52 (não mostrada na figura 5) é feito por meio de uma pluralidade de fios metálicos ou pinos de contato 76. Os pinos de contato 76 se estendem através dos orifícios de contato 56 na placa superior, dos orifícios 72 nas placas intermediárias, e dos orifícios 60 na placa 52. O comprimento dos pinos de contato é ditado por meio da espessura total da antenna baseada em PCB, e o contato elétrico entre os pinos de contato e as trilhas é feito por meio de soldagem de cada pino na trilha 54 e 58 que envolvem o orifício de contato através do qual o pino se estende. Em uma segunda forma de realização, ao contrário de usar os pinos de contato 76 e 78, a antenna com núcleo de ferrita baseada em PCB é fabricada de uma tal maneira, que solda ou outro material eletricamente condutor se estende entre a placa 50 e a placa 52 através dos orifícios de conexão para estabelecer o contato elétrico. Desta maneira, o material eletricamente condutor, quer seja solda, fios metálicos de contato, ou outro material, se acopla eletricamente com as trilhas sobre as placas 50 e 52, desta maneira criando uma pluralidade de espiras de percurso

eletricamente condutor em torno do núcleo de ferrita.

Os materiais usados para construir a placa 50, a placa 52, ou quaisquer das placas intermediárias 62 podem tomar várias formas, dependendo do ambiente no qual a antena baseada em PCB é usada. Em
5 ambientes difíceis onde é esperado que as faixas de temperatura excedam 200 °C, as placas 50, 52 e 62 são feitas de um material cerâmico reforçado com vidro, e tal material pode ser obtido a partir de Rogers Corporation de Rogers, Connecticut (por exemplo material tendo o número de parte R04003). Em aplicações onde a esperada faixa de temperatura é menor que 200 °C, as
10 placas 50, 52 e 62 podem ser feitas a partir de material de poliamida reforçado com vidro (se conformando com IPC-4101, tipo GEL) disponível a partir de fontes, tal como Arlon, Inc. de Bear, Delaware, ou Applied Signal, Inc. Ademais, nas formas de realização preferidas, o material de ferrita na cavidade central ou interna criada por meio das placas intermediárias 62 é um
15 material de alta permeabilidade, preferivelmente o Material 77 disponível a partir de Elna Magnetic de Woodstock, Nova Iorque. Como se subentende da figura 5, o núcleo de ferrita 74 das formas de realização preferidas é uma pluralidade de materiais do tipo de barras, empilhados; todavia, o núcleo de ferrita pode equivalentemente ser uma única peça de material de ferrita, e
20 pode também compreender um denso agrupamento de aparas de ferrita, ou similares.

Ademais, a figura 5 mostra como os contatos 66 e 68 se acoplam eletricamente com as trilhas 54 e 58. Em particular, na forma de realização mostrada na figura 5, o contato elétrico 66 se estende ao longo da
25 dimensão longitudinal da placa 52, e envolve um orifício de contato na extremidade distante. Se os pinos de conexão 76, 78 forem usados, ou se outras técnicas para conexão de traços sobre múltiplos níveis de placa de circuitos forem usadas, preferivelmente a trilha 66 se acopla eletricamente com o enrolamento criado por meio das trilhas 54, trilhas 58 e interconexões

entre as trilhas. Da mesma maneira, a pista de conexão 68 se acopla eletricamente com uma trilha que envolve um mais próximo orifício de contato no lado oposto da conexão feita para a pista 66. Através de técnicas já discutidas, o ponto de contato 68 é eletricamente acoplado com os enrolamentos da antena. Embora não especificamente mostrado na figura 5, o núcleo de ferrita 74 é eletricamente isolado das trilhas. Este isolamento pode ter a forma de uma folha de isolamento, ou, alternativamente, as trilhas poderiam estar no interior da placa não condutora 52 propriamente dita.

Antes de prosseguir, deve ser entendido que a forma de realização mostrada nas figuras 3, 4 e 5 é meramente exemplificativa da ideia de usar trilhas sobre uma placa de circuitos impressos, bem como conexões elétricas entre várias camadas de placa, para formar os enrolamentos ou espiras de percurso de condução elétrica em torno de um núcleo de ferrita mantido no local por meio dos PCBs. Em uma forma de realização, o núcleo de ferrita é selado no interior da cavidade interna criada pelas placas intermediárias por aquelas placas intermediárias terem selos uma em relação à outra. Todavia, dependendo do tipo de material de ferrita usado, ou do uso proposto da antena (ou de ambos), não seria necessário que as placas intermediárias fossem seladas uma em relação à outra. Em lugar disto, os pinos de conexão 76 e 78 poderiam suspender uma ou mais placas intermediárias entre as placas 50, 52 tendo as trilhas elétricas, desta maneira mantendo o material de ferrita no interior da cavidade definida por meio das placas intermediárias, e também evitando que o material de ferrita entre em contato elétrico com os pinos de conexão. Também, a forma de realização das figuras 3, 4 e 5 tem porções estendidas 64 da placa 52 para prover um local para o acoplamento elétrico de fios metálicos de sinal. Todavia, esta porção estendida 64 não precisa estar presente, e, em lugar disto, os fios metálicos para o acoplamento elétrico da antena com núcleo de ferrita baseada em PCB poderiam ser soldados diretamente nos locais apropriados sobre a antena.

Ainda mais, dependendo da aplicação particular, a antena com núcleo de ferrita baseada em PCB também pode ser propriamente encapsulada em um material de proteção, tal como epóxi, para que o material de placa não seja exposto ao ambiente de operação. Além disto, existem técnicas, como a da
5 descrição deste pedido, para embutir trilhas elétricas dentro de uma placa de circuito impresso, de modo que ele não expostos, diferentemente que seus contatos elétricos, sobre as superfícies da placa de circuito impresso, e esta tecnologia também poderia ser utilizada na criação da placa 50 e da placa 52. Além disto, uma forma de realização da antena com núcleo de ferrita baseada
10 em PCB, tal como aquela mostrada nas figuras 3, 4 e 5, pode ter uma dimensão longitudinal de aproximadamente 8 centímetros, uma largura de aproximadamente 1,5 centímetros e a altura de aproximadamente 1,5 centímetros. Uma antena com núcleo de ferrita baseada em PCB, tal como aquela mostrada nas figuras 3, 4 e 5, com essas dimensões, pode ser adequada
15 para medições de resistividade de formação, azimutalmente sensíveis. Em situações onde é desejada a formação de imagem do poço não revestido, o tamanho total pode se tornar menor, mas uma tal construção não deve partir do escopo e espírito desta invenção.

A figura 6 mostra uma forma de realização que utiliza as
20 antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB. Em particular, a figura 6 mostra uma ferramenta 80 disposta no interior de um poço não revestido 82. A ferramenta 80 poderia ser um dispositivo de cabo, ou a ferramenta 80 poderia ser parte de uma instalação de fundo de furo de um sistema de medição-durante-perfuração. Nesta forma de realização, a fonte é uma antena
25 de enlace 84. Como é conhecido na arte, uma antena de enlace 84 gera radiação eletromagnética omnidirecional. A ferramenta 80 da forma de realização mostrada na figura 6 também compreende uma primeira pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB 86, acopladas em um local sobre a ferramenta 80 tendo um espaçamento S desde uma

antena de enlace 84, e uma segunda pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB 87, acopladas com a ferramenta, embaixo da primeira pluralidade. A figura 6 mostra somente três de tais antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB na primeira e segunda pluralidade (designadas com 86A, B, C e 87A, B, C); todavia, qualquer número de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB pode ser espaçado ao longo da circunferência da ferramenta 80, nesses locais. Preferivelmente, todavia, oito antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB 86 são uniformemente espaçadas em torno da circunferência da ferramenta 80 em cada uma da primeira e segunda pluralidades. Formas de realização operáveis podem ter tão poucas quanto quatro antenas, e ferramentas de elevada resolução podem compreender dezesseis, trinta e duas ou mais. A antena de fonte 84 cria onda eletromagnética, e cada uma das antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB 86, 87 recebe uma porção daquela onda eletromagnética que se propaga. Visto que as antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB são, cada uma, dispostas em um particular local circunferencial, e visto que as antenas são montadas próximas à superfície de metal da ferramenta 80, a onda eletromagnética recebida é localizada na porção da parede de poço não revestido ou formação através da qual aquela onda se propagou. Desta maneira, tendo uma pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB, é possibilitado, nesta forma de realização, fazer leituras azimutalmente sensitivas. Os tipos de leituras são dependentes, por alguma extensão, do espaçamento S entre a pluralidade de antenas 86 e a antena de enlace 84. Para espaçamentos entre a fonte e a primeira pluralidade 86 na ordem de seis polegadas, uma ferramenta, tal como aquela mostrada na figura 6, pode ser particularmente adequada para realizar formação de imagens de parede de poço não revestido por resistividade eletromagnética. Nesta disposição, a segunda pluralidade 87, se usada, pode ser espaçada aproximadamente por uma polegada a partir dos receptores 86. Para maior espaçamento, na ordem

de oito polegadas ou maior para a primeira pluralidade 86 e quatorze a dezoito polegadas para a segunda pluralidade, a ferramenta pode ser particularmente adequada para fazer medições de resistividade de formação, azimutalmente sensitivas.

5 Com referência agora à figura 7, é mostrada uma forma de realização alternativa onde, ao contrário de usar uma antena de enlace na qualidade de fonte, uma pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB são elas próprias usadas para gerar a fonte de ondas eletromagnéticas. Em particular, a figura 7 mostra uma ferramenta 90 disposta
10 no interior de um poço não revestido 92. A ferramenta 90 poderia ser um dispositivo de cabo, ou também poderia ser uma ferramenta no interior de uma instalação de fundo de furo de um processo de MWD. Nesta forma de realização, fontes de ondas eletromagnéticas são geradas por meio de uma pluralidade de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB 94, cuja
15 construção foi discutida acima. Embora o desenho exemplificativo da figura 7 mostre somente três de tais antenas 94A, B e C, qualquer número de antenas pode ser espaçado em torno da circunferência da ferramenta, e é preferido que oito de tais antenas sejam usadas. Similarmente à forma de realização mostrada na figura 6, a forma de realização da figura 7 compreende uma
20 primeira e segunda pluralidades de antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB 96, 97, usadas como receptores, espaçadas ao longo da circunferência da ferramenta 90 em um local espaçado, a partir de uma pluralidade de antenas de transmissão 94. Na vista em perspectiva da figura 7, somente três de tais antenas de recepção 96A, B e C são visíveis para a primeira pluralidade, e
25 somente três antenas de recepção 97A, B e C são visíveis para a segunda pluralidade; todavia, qualquer número de antenas pode ser usado, e preferivelmente oito de tais antenas são utilizadas em cada uma da primeira e segunda pluralidades. A operação da ferramenta 90 da figura 7 pode alternativamente compreender transmitir onda eletromagnética com todas as

antenas de transmissão 94 simultaneamente, ou pode alternativamente compreender disparar cada uma das antenas de transmissão 94 sequencialmente. Em uma forma similar àquela descrita com respeito à figura 6, a recepção da onda eletromagnética gerada pelas antenas de fonte 94 é realizada com cada uma antena de recepção individual 96, 97. Em virtude do espaçamento circunferencial em torno da ferramenta 90, a propagação de onda eletromagnética recebida é azimutalmente sensitiva. A ferramenta, tal como aquela mostrada na figura 7, pode ser utilizada para formação de imagens de poço não revestido, como previamente discutido, ou pode ser igualmente utilizada para medições de resistividade de formação, azimutalmente sensitivas.

A figura 8 mostra ainda uma outra forma de realização de um dispositivo de resistividade por onda eletromagnética que usa as antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB, como descrito acima. Em particular, a figura 8 mostra uma ferramenta 100 disposta no interior de um poço não revestido 102. A ferramenta 100 pode ser um dispositivo de cabo, ou a ferramenta pode ser parte de uma instalação de fundo de furo de uma operação de MWD. Na forma de realização mostrada na figura 8, a ferramenta 100 compreende uma ou mais aletas de estabilização 104A, B. Nesta forma de realização, as antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB são preferivelmente colocadas no interior de uma aleta de estabilização 104 próxima à sua superfície externa. Em particular, a ferramenta pode compreender uma antena de fonte 106 e a antena de recepção 108 disposta no interior da aleta de estabilização 104A. É notado nesta forma de realização particular que a ferramenta 100 pode servir para uma dupla finalidade. Em particular, a ferramenta 100 pode ser utilizada para outras funções, tais como porosidade de nêutrons, com as fontes de nêutron e sensores dispostos em outros locais na ferramenta, tal como no interior da aleta de estabilização 104B. A operação da ferramenta, tal como a ferramenta 100, é similar às das

prévias formas de realização, na medida que a antena de fonte 106 gera onda eletromagnética, que é recebida por meio da antena de recepção 108. Em virtude do local da antena de recepção sobre um lado particular da ferramenta 100, a radiação de onda eletromagnética recebida é azimutalmente sensitiva.

- 5 Se a ferramenta 100 gira, a formação de imagens do fundo do poço não revestido é possível. Uma adicional antena receptora poderia ser colocada no interior da aleta de estabilização 104A, que permite medições de resistividade azimutalmente sensitivas.

Embora não tenha sido previamente discutido, a figura 9
10 indica que a antena de fonte 106 e a antena de recepção 108 são montadas no interior de recessos. De fato, em cada uma das formas de realização das figuras 6, 7 e 8, a implementação preferida é a montagem das antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB em recessos sobre a ferramenta. Com respeito às figuras 6 e 7, os recessos são no interior do corpo de ferramenta
15 propriamente dito. Com respeito à figura 8, os recessos são sobre a aleta de estabilização. Embora as antenas com núcleo de ferrita baseadas em placas de circuito impresso, se operadas no espaço livre, seriam omnidirecionais, por causa de seu pequeno tamanho em relação ao corpo de ferramenta, e do fato de que elas são preferivelmente montadas no interior de um recesso, elas se
20 tornam direcionalmente sensitivas. Adicional sensitividade direcional é realizada por meio de uma disposição de tampa.

A figura 10 mostra uma disposição de tampa exemplificativa para cobrir as antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB para atingir maior direcionalidade. Em particular, a tampa 110 compreende uma
25 superfície interna externa oca 114, tendo suficiente volume para cobrir uma antena com núcleo de ferrita baseada em PCB. Em uma superfície frontal da tampa 100, está previsto um rasgo 112. A operação da tampa 110 em qualquer das formas de realização envolve a colocação da tampa 110 sobre a antena de recepção (86, 96 ou 108) com a cavidade 112 cobrindo a antena com núcleo

de ferrita baseada em PCB, e o rasgo 112 exposto a uma superfície externa da ferramenta (80, 90 ou 100). Radiação de onda eletromagnética, especificamente os componentes de campo magnético, criada por meio de uma fonte (quer uma antena de enlace com núcleo de ferrita baseada em PCB
5 quer outra antena), poderia acessar e, por conseguinte, induzir um fluxo de corrente na antena com núcleo de ferrita baseada em PCB no interior da tampa através do rasgo 112. Quanto menor for o rasgo ao longo de sua distância curta, tanto maior a sensibilidade direcional se tornará; todavia, suficiente rasgo é requerido, de modo que a radiação de onda eletromagnética
10 pode induzir suficiente corrente para detecção.

Embora não especificamente mostrado nos desenhos, cada uma das antenas de fonte e antenas de recepção é acoplada com um circuito elétrico para difundir e detectar sinais eletromagnéticos, respectivamente. Uma pessoa tendo conhecimento normal na arte, entendendo agora a
15 construção e o uso das antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB entenderão que os componentes eletrônicos existentes, usados em ferramentas de carregamento do tipo de indução, podem ser acoplados com as antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB para finalidades operacionais. Assim, não é requerida uma descrição mais detalhada dos componentes eletrônicos
20 específicos para informar uma pessoa tendo conhecimento na arte como o uso das antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB das várias formas de realização descritas com respeito aos necessários componentes eletrônicos.

A discussão acima pretende ser ilustrativa dos princípios e das várias formas de realização da presente invenção. Inúmeras variações e
25 modificações se tornarão aparentes para aqueles especializados na arte após a descrição acima ser uma vez totalmente apreciada. Por exemplo, nas formas de realização mostradas nas figuras 6 e 7, existem dois níveis de antenas de recepção. Para formação, podem ser requeridas medições de resistividade tendo dois níveis de antenas de recepção, de modo que uma diferença em

amplitude recebida e diferença em fase recebida podem ser determinadas. Para uso das antenas com núcleo de ferrita baseadas em PCB em ferramentas de formação de imagens no poço não revestido, o segundo nível de antenas de recepção é opcional. Correspondentemente, a forma de realização mostrada na figura 8 tendo somente uma antena de transmissão e uma antena de recepção, sendo assim particularmente adequada para formação de imagens de parede de poço não revestido, pode igualmente incluir uma adicional antena de recepção e, com o espaçamento adequado, pode também ser usada como um dispositivo de testar resistividade de formação. É pretendido que as reivindicações que seguem sejam interpretadas para envolver todas de tais variações e modificações.

REIVINDICAÇÕES

1. Ferramenta de fundo de furo para medir radiação eletromagnética baseada em medições de resistividade de formação azimutalmente sensitivas de uma formação envolvendo um furo de sondagem durante uma operação de perfuração, a ferramenta de fundo de furo tendo um corpo da ferramenta de fundo de furo e compreendendo uma antena de fonte mecanicamente acoplada ao corpo da ferramenta de fundo de furo, a antena de fonte para gerar radiação eletromagnética, a ferramenta de fundo de furo, caracterizada pelo fato de que compreende:

uma primeira pluralidade de antenas de recepção com núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso direcionalmente sensitivas (86, 96), mecanicamente acopladas ao corpo de ferramenta em torno de uma circunferência da ferramenta de fundo de furo em uma primeira distância espaçada (S) a partir da antena de fonte; e

uma segunda pluralidade de antenas de recepção com núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso direcionalmente sensitivas (87, 97), mecanicamente acopladas ao corpo de ferramenta em torno da circunferência da ferramenta de fundo de furo em uma segunda distância espaçada a partir da antena de fonte, em que cada uma da primeira e segunda pluralidade das antenas de recepção (86, 87, 96, 97) compreende:

uma primeira placa de circuitos (50) tendo um comprimento, uma largura, e uma pluralidade de trilhas elétricas (54) transpondo a primeira placa de circuitos (50) em paralelo à largura; e

uma segunda placa de circuitos (52) tendo um comprimento, uma largura, e uma pluralidade de trilhas elétricas (58) transpondo a segunda placa de circuito (52) em um ângulo em relação à largura, a primeira (50) e a segunda (52) placas de circuitos em uma configuração empilhada;

uma placa intermediária (62) entre a primeira (50) e segunda (52) placas de circuitos, a placa intermediária (62) tendo um comprimento,

uma largura, e uma abertura central (70);

material de ferrita (74) entre a primeira (50) e a segunda (52) placas de circuitos dentro da abertura central (70) da placa intermediária (62);

sendo que as trilhas elétricas (54) sobre a primeira placa de circuitos (50) são eletricamente acopladas com as trilhas elétricas (58) sobre a segunda placa de circuitos (52) formando uma pluralidade de espiras de percurso de condução elétrica em torno do material de ferrita (74).

2. Ferramenta de fundo de furo de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a ferramenta é configurada para ser parte de uma instalação de fundo de furo em uma operação de perfuração.

3. Ferramenta de fundo de furo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, caracterizada pelo fato de que a primeira distância espaçada (S) da primeira pluralidade é de 203 a 254 mm (de 8 a 10 polegadas).

4. Ferramenta de fundo de furo de acordo a reivindicação 3, caracterizada pelo fato de que a segunda distância espaçada da segunda pluralidade é de 356 a 457 mm (de 14 a 18 polegadas).

5. Ferramenta de fundo de furo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada pelo fato de que a antena de fonte também compreende uma antena de enlace (84) que difunde radiação eletromagnética omnidirecional.

6. Ferramenta de fundo de furo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada pelo fato de que a antena de fonte também compreende uma pluralidade de antenas de núcleo de ferrita baseadas em placa de circuito impresso (94), espaçadas em torno da circunferência do corpo de ferramenta.

7. Ferramenta de fundo de furo de acordo a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a primeira placa de circuitos (50), segunda placa de circuitos (52) e a placa intermediária (62) são seladas de modo que a

abertura central (70) da placa intermediária (62) forma a cavidade interna.

8. Ferramenta de fundo de furo de acordo a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que também compreende:

uma pluralidade de orifícios de contato (56) proximais a uma
5 borda da primeira placa de circuitos (50) ao longo de seu comprimento, cada
uma das trilhas elétricas (54) da primeira placa de circuitos (50) pelo menos
parcialmente envolvendo pelo menos um dos orifícios de contato (56);

uma pluralidade de orifícios de contato (60) proximais a uma
borda da segunda placa de circuitos (52), cada uma das trilhas elétricas (58)
10 da segunda placa de circuitos (52) envolvendo pelo menos um dos orifícios de
contato (60);

uma pluralidade de percursos de condução (72) estendendo-se
através da placa intermediária (62) alinhados com os orifícios de contato (56,
60) na primeira (50) e segunda (52) placas de circuitos; e

15 material eletricamente condutor (76) estendendo-se através dos
orifícios de contato (56, 60) em cada uma da primeira (50) e segunda (52)
placas de circuitos, e também estendendo-se através dos percursos de
condução (72) da placa intermediária (62), o material eletricamente condutor
(76) eletricamente acoplado com as trilhas (54, 58) sobre a primeira (50) e
20 segunda (52) placas de circuitos e, em combinação com as trilhas (54, 58),
formando a pluralidade de espiras de percurso de condução elétrica em torno
do material de ferrita (74).

9. Método para medir radiação eletromagnética baseada em
medições de resistividade de formação azimutalmente sensitivas de uma
25 formação envolvendo um furo de sondagem durante uma operação de
perfuração, compreendendo:

perfurar um furo de sondagem usando um conjunto de furo de
fundo compreendendo uma ferramenta de medição da resistividade por onda
eletromagnética; e,

realizar leituras de resistividade azimuthalmente sensitivas de uma formação envolvendo um poço usando a ferramenta de resistividade por onda eletromagnética, enquanto perfurando, a etapa de realizar leituras inclui difundir radiação eletromagnética na formação;

5 caracterizado por:

utilizar uma primeira pluralidade de antenas de recepção com núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso direcionalmente sensitivas (86, 96), mecanicamente acopladas ao corpo de ferramenta em torno de uma circunferência da ferramenta de fundo de furo em uma primeira
10 distância espaçada (S) a partir de uma fonte de radiação eletromagnética (84, 94); e,

utilizar uma segunda pluralidade de antenas de recepção com núcleo de ferrita baseada em placa de circuito impresso direcionalmente sensitivas (87, 97), mecanicamente acopladas ao corpo de ferramenta em
15 torno da circunferência da ferramenta de fundo de furo em uma segunda distância espaçada a partir da fonte de radiação eletromagnética (84, 94), em que cada uma da primeira e segunda pluralidade das antenas de recepção (86, 87, 96, 97) compreende:

uma primeira placa de circuitos (50) tendo um comprimento,
20 uma largura, e uma pluralidade de trilhas elétricas (54) transpondo a primeira placa de circuitos (50) em paralelo à largura; e

uma segunda placa de circuitos (52) tendo um comprimento, uma largura, e uma pluralidade de trilhas elétricas (58) transpondo a segunda placa de circuito (52) em um ângulo em relação à largura, a primeira (50) e a
25 segunda (52) placas de circuitos em uma configuração empilhada;

uma placa intermediária (62) entre a primeira (50) e segunda (52) placas de circuitos, a placa intermediária (62) tendo um comprimento, uma largura, e uma abertura central (70);

material de ferrita (74) entre a primeira (50) e a segunda (52)

placas de circuitos dentro da abertura central (70) da placa intermediária (62);
em que as trilhas elétricas (54) sobre a primeira placa de circuitos (50) são eletricamente acopladas com as trilhas elétricas (58) sobre a segunda placa de circuitos (52) formando uma pluralidade de espiras de percurso de condução elétrica em torno do material de ferrita (74).

10. Método de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que também compreende:

receber em direções azimutalmente sensitivas porções da radiação eletromagnética com a primeira pluralidade de antenas de recepção (86, 96); e

receber em direções azimutalmente sensitivas porções da radiação eletromagnética com a segunda pluralidade de antenas de recepção (87, 97).

11. Método de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a difusão da radiação eletromagnética dentro da formação também compreende difundir um padrão de radiação eletromagnética omnidirecional no interior da formação.

12. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que difundir um padrão de radiação eletromagnética omnidirecional no interior da formação também compreende difundir a radiação eletromagnética no interior da formação usando uma antena de enlace (84).

13. Método de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que difundir a radiação eletromagnética no interior da formação também compreende difundir radiação eletromagnética a partir de uma pluralidade de antenas de transmissão (94) posicionadas em torno da circunferência da ferramenta de medição de resistividade.

14. Método de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que difundir radiação eletromagnética a partir de uma pluralidade

de antenas de transmissão (94) também compreende difundir radiação eletromagnética a partir de uma pluralidade de antenas de núcleo de ferrita baseadas em placa de circuito impresso.

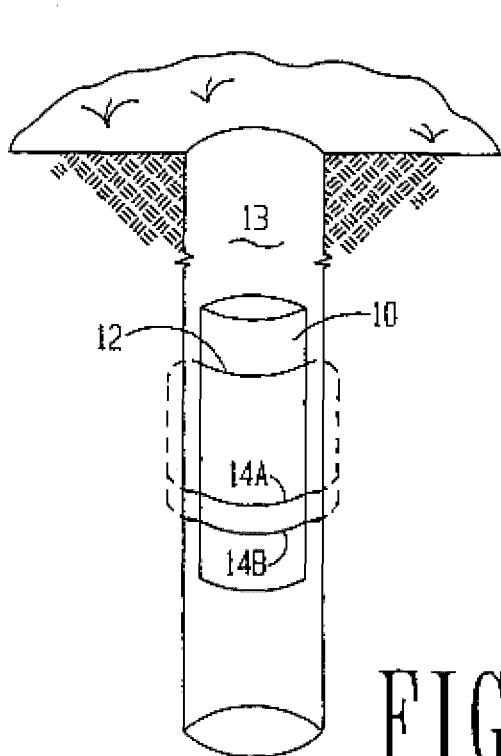


FIG 1

TÉCNICA ANTERIOR

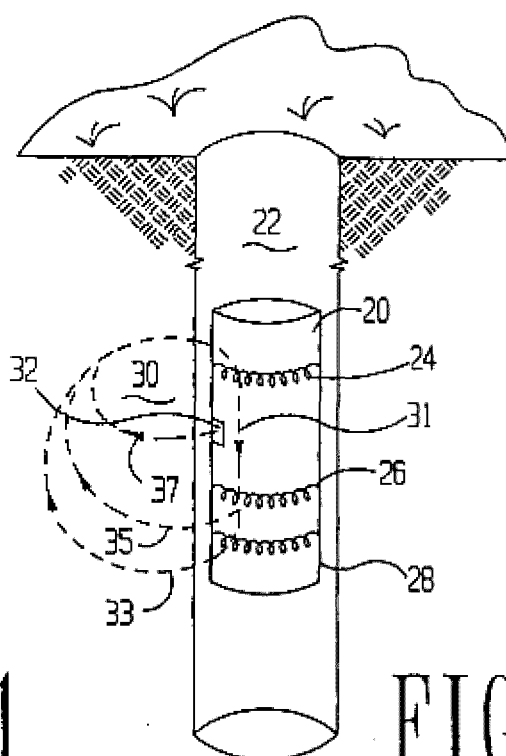


FIG 2

TÉCNICA ANTERIOR

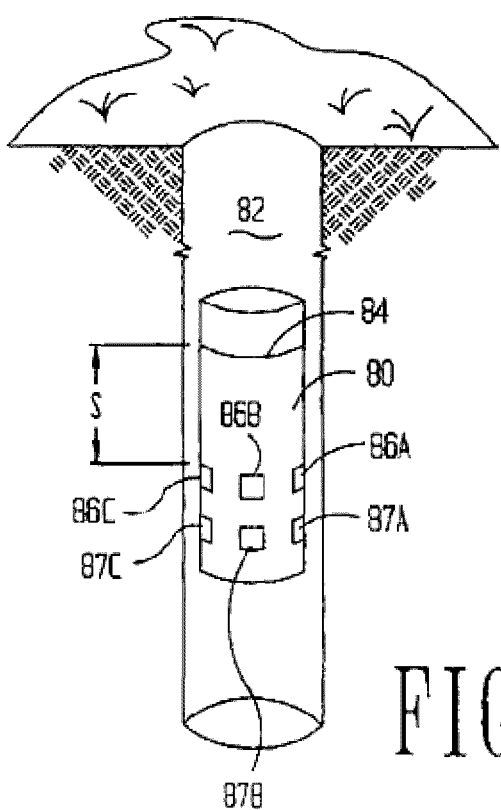


FIG 6

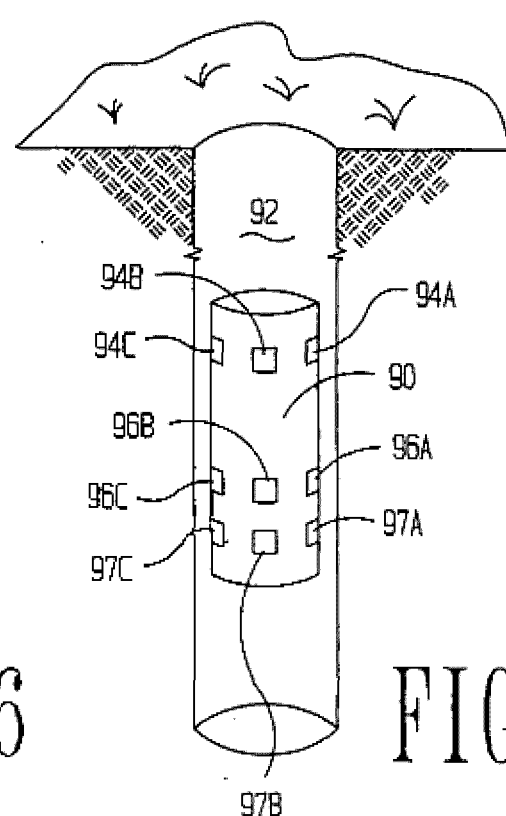


FIG 7

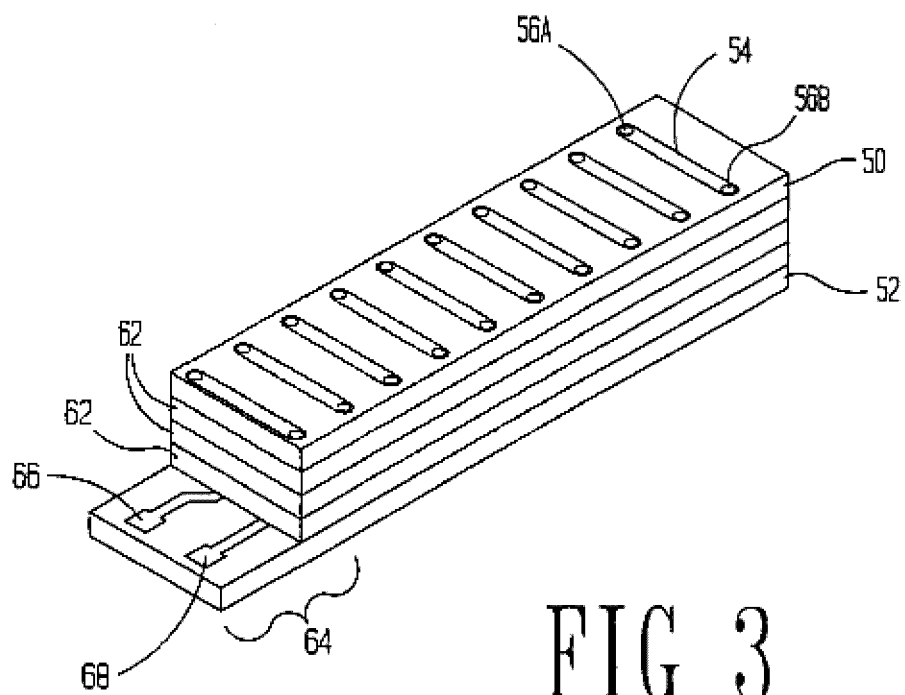


FIG 3

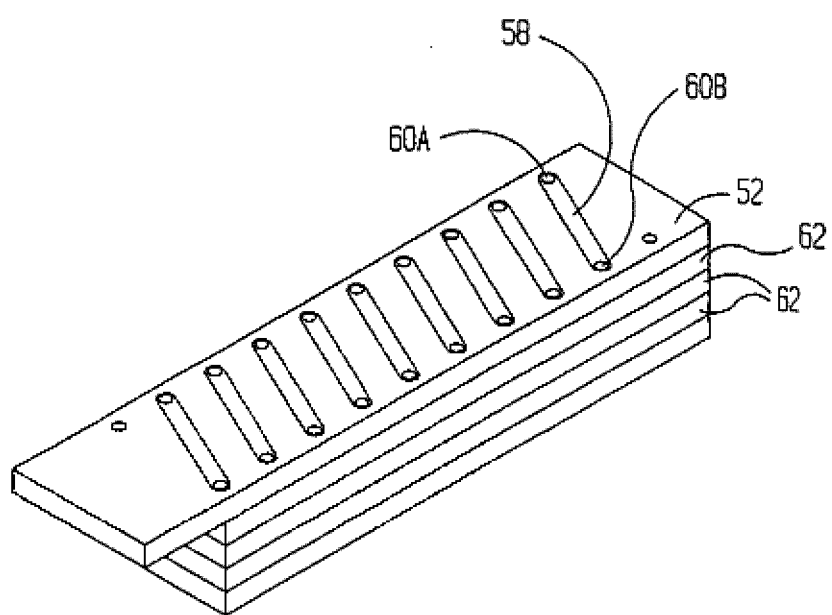
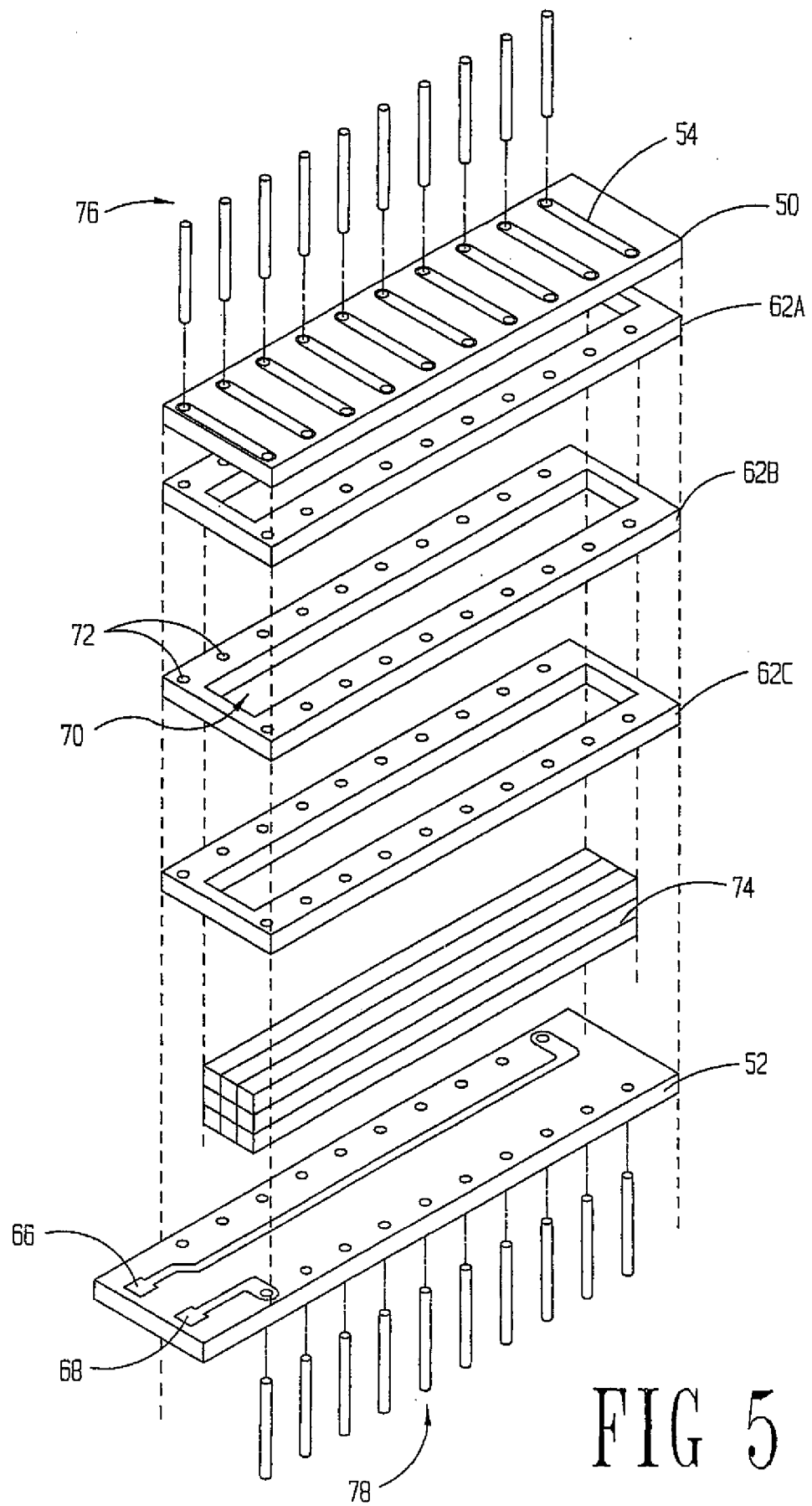


FIG 4



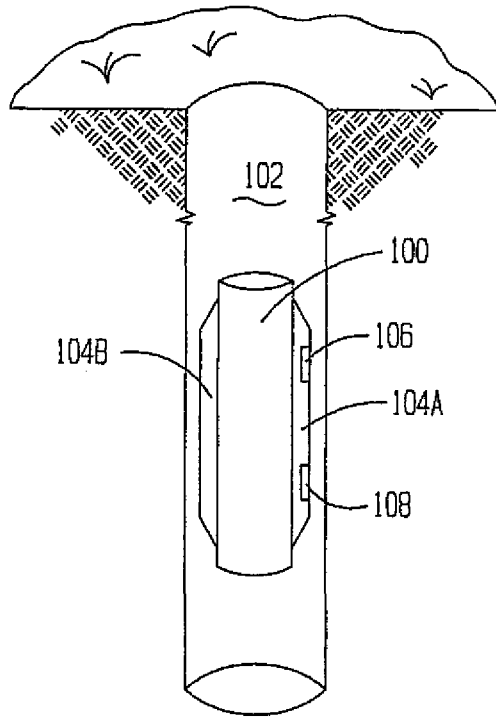


FIG 8

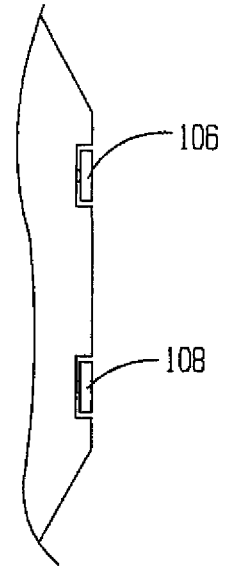


FIG 9

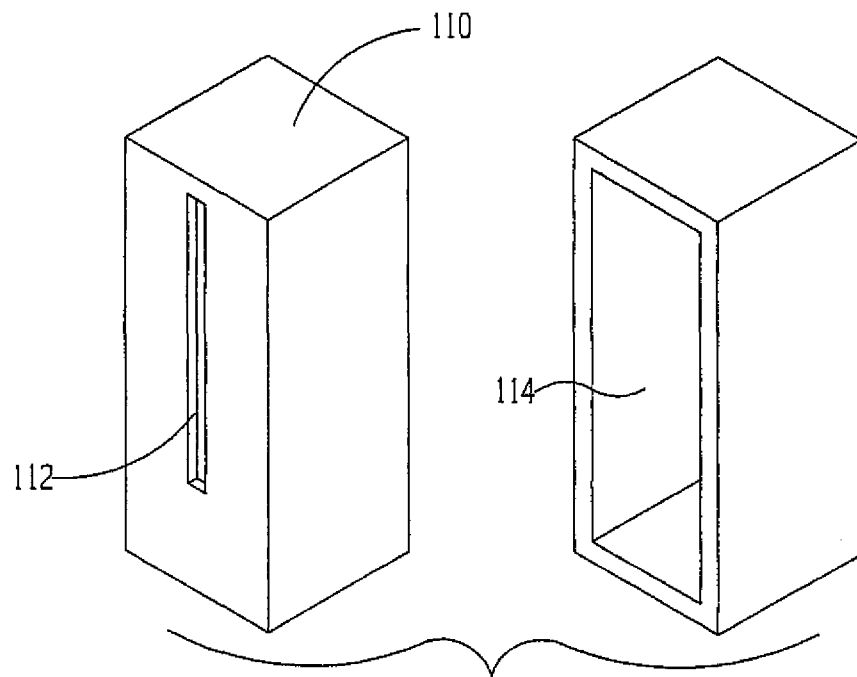


FIG 10