



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

(11) PI 1103537-4 B1



(22) Data do Depósito: 29/07/2011

(45) Data de Concessão: 13/10/2020

(54) Título: MÉTODO PARA GERAR DADOS PARA RECONSTRUIR A DISTRIBUIÇÃO DE PROPRIEDADES ELÉTRICAS NO INTERIOR DE UM OBJETO MULTI-MATERIAL

(51) Int.Cl.: G01R 27/02; G01B 7/00.

(30) Prioridade Unionista: 12/08/2010 US 12/855,018.

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(72) Inventor(es): SAKETHRAMAN MAHALINGAM; MANOJ KUMAR KOYITHITTA MEETHAL; PRAFULL SHARMA; RAJESH VEERA VENKATA LAKSHMI LANGOJU; WRICHIK BASU; PARAMA GHOSHAL.

(57) Resumo: MÉTODO PARA GERAR DADOS PARA RECONSTRUIR A DISTRIBUIÇÃO DE PROPRIEDADES ELÉTRICAS NO INTERIOR DE UM OBJETO MULTIMATERIAL A presente invenção refere-se geralmente a avaliação não-destrutiva ou não-invasiva de um objeto multi-material e, mais especificamente, a métodos para gerar dados para realizar Tomografia por Impedância Elétrica de um objeto que compreende materiais diferentes dentro de um limite fechado, referido como um objeto multi-material. O método para gerar dados para reconstruir a distribuição de propriedades elétricas no interior de um objeto multi-material compreende configurar uma pluralidade de eletrodos (44i) ao longo de uma trajetória helicoidal tridimensional (Equações 3) para fornecer um arranjo tridimensional (Hj) de eletrodos (44i) ao redor do objeto multi-material; e aplicar um conjunto de padrões de sinal para introduzir nos eletrodos (44i) e obter, em resposta à aplicação do conjunto de padrões de sinal, um conjunto medido de sinais elétricos dos eletrodos (44i).

**“MÉTODO PARA GERAR DADOS PARA RECONSTRUIR A DISTRIBUIÇÃO
DE PROPRIEDADES ELÉTRICAS NO INTERIOR DE UM OBJETO MULTI-
MATERIAL”**

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se geralmente a avaliação não-destrutiva ou não-invasiva de um objeto multi-material e, mais especificamente, a métodos para gerar dados para realizar Tomografia por Impedância Elétrica de um objeto que compreende materiais diferentes dentro de um limite fechado, referido como um objeto multi-material.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Os princípios da Tomografia por Impedância Elétrica (EIT) são baseados no conhecimento de que os objetos sob examinação possuem variações nas propriedades elétricas, por exemplo, condutividades e permitividades, que estão altamente relacionadas às características do material como densidade ou composição química. Por exemplo, no corpo humano há significantes variações na condutividade elétrica dentre os tecidos corporais.

[003] Nas atividades industriais e outras aplicações não-clínicas, é desejável realizar monitoramento ou imageamento não-invasivo para determinar a composição de um volume corporal, ou para caracterizar o tamanho e formato de um recurso, ou outra condição no interior de um objeto de interesse. De modo geral, a EIT é útil para imageamento de recursos, no interior de um volume, que são caracterizados através de propriedades elétricas distinguíveis. No entanto, a EIT também pode ser usada de uma maneira em que, ao invés de gerar uma imagem, o resulta final possa ser um valor matemático ou um conjunto de valores matemáticos indicativos do local, proporções ou outras propriedades dos materiais diferentes no interior do volume. Por exemplo, os recursos no interior dos volumes que possuem diferentes densidades podem ser resolvidos nesta base. Por exemplo, em

misturas de fluido multifásicas é conhecido que as condutividades irão variar com base na fase (por exemplo, líquida ou gás) ou composição química. Em princípio, as medições elétricas realizadas com instrumentação relativamente simples podem fornecer dados indicativos de (i) onde, no volume, um material particular está localizado, (ii) as proporções relativas de constituintes diferentes e (iii) o formato do limite entre materiais diferentes no interior do volume. Os exemplos de misturas para as quais as concentrações da fase podem ser determinadas são composições sólido-líquida como pasta semi-aquosa, composições gasoso-líquida como presentes em oleodutos e, geralmente, misturas líquido-líquido e sólido-gás-líquido. As misturas podem ser estacionárias ou em fluxo. No caso de fluidos fluindo através de um tubo, as determinações da condutividade dentre os materiais de fases diferentes, ou entre materiais que têm propriedades químicas diferentes (por exemplo, água e óleo), podem levar a determinações de volumes relativos presentes.

[004] De modo geral, há uma necessidade de determinação de características do fluxo interno nestes tipos de processos de fluxo multifásico já que esta informação permite projeto e controle aprimorado dos processos industriais e eficácia operacional aumentada de equipamento de processamento existente e novo. As características de fluxo usadas para prever o desempenho dos processos multifásicos podem incluir, por exemplo, distribuições espaciais das fases (frações da fase volumétrica espacial), regimes de fluxo, definição de áreas interfaciais, e determinação de velocidade absoluta e relativa entre as fases ou materiais. Saber que a distribuição espacial dos materiais é particularmente útil já que distribuições não-uniformes dos materiais tendem a reduzir a área interfacial entre os materiais disponíveis para reação química ou conversão e podem resultar em fluxos de recirculação criando zonas ou concentrações de reação espacialmente não-uniformes. Adicionalmente, a fração da fase volumétrica e a velocidade são parâmetros

importantes que permitem controle apropriado e em tempo hábil de fluxos multifásicos.

[005] Em relação à determinação de frações de volume de fases líquida e gasosa em um tubo com o uso de EIT, é convencional adquirir dados através da colocação de uma série de eletrodos ao longo da periferia de um corpo sob estudo, por exemplo, em um círculo ao longo de uma superfície interior de um tubo. Vide Patente U.S. Nos. 4.486.835; 4.539.640; 4.920.490; e 5.381.333, em que todas estão incorporadas ao presente documento a título de referência. Nos sistemas descritos pela literatura precedente, um conjunto de sinais elétricos (tensão ou corrente) é aplicado ao volume através de eletrodos. Os sinais elétricos medidos (tensão ou corrente) são usados para reconstruir os recursos espaciais no interior do volume sob estudo de modo que uma imagem representativa dos recursos possa ser gerada. Nesse aspecto, há o que é frequentemente referido como um problema inverso em que pode não haver uma única solução, isto é, imagem, que corresponde aos dados adquiridos. O conjunto de sinais elétricos aplicados é tipicamente uma série de padrões de excitação. É necessário acionar sequencialmente o conjunto de eletrodos com uma série relativamente grande de tais padrões de excitação. Como um exemplo, em um dos padrões de excitação na série, todos os eletrodos podem ser aplicados com sinais de tensão sinusoidal que têm suas fases alteradas em relação um ao outro. Os sinais de corrente correspondentes são medidos em resposta a cada conjunto de padrões de excitação. Com o uso dos dados adquiridos junto à aplicação da série de padrões de excitação, os algoritmos são aplicados para encontrar uma distribuição de propriedades elétricas no interior do volume e, por conseguinte, a distribuição de vários materiais.

[006] Quando os eletrodos estão posicionados ao longo de um plano selecionado cortando através do corpo sob estudo, os algoritmos

destinam-se a fornecer uma distribuição das propriedades elétricas ao longo do mesmo plano. De modo geral, uma ampla variedade de métodos matemáticos e técnicas numéricas vêm sendo aplicada para determinar a distribuição de propriedades elétricas representativas do objeto multi-material ao longo do selecionado. Observar que as correntes disseminadas na terceira dimensão (fora do plano ao longo do qual os eletrodos estão colocados) enquanto os mesmos percorrem através de uma estrutura sob examinação, os detalhes de estruturas finas podem não ser facilmente resolvidos.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[007] Em uma realização da invenção, é fornecido um arranjo de eletrodo para uso na geração e medição de sinais elétricos. O arranjo é adequado para reconstruir a distribuição de propriedades elétricas no interior de um objeto multi-material em uma região interior de uma estrutura. Tal região pode ser caracterizada por materiais que têm condutividades ou admitividades diferentes que influenciam a transmissão de sinais elétricos através da região. O arranjo de eletrodo inclui uma pluralidade de eletrodos disposta ao longo de pelo menos uma trajetória helicoidal tridimensional para fornecer um ou mais arranjos helicoidais de eletrodos ao redor da região multi-material.

[008] De acordo com outra realização da invenção, é fornecido um método para gerar dados para reconstruir a distribuição de propriedades elétricas no interior de um objeto multi-material. Uma pluralidade de eletrodos é configurada ao longo de uma trajetória helicoidal tridimensional para fornecer um arranjo tridimensional de eletrodos ao redor do objeto multi-material. Um conjunto de padrões de sinal é aplicado aos eletrodos. Em resposta à aplicação do conjunto de padrões de sinal, um conjunto medido de sinais elétricos é obtido dos eletrodos. Em realizações exemplificadoras, inúmeros tipos de padrões de campo elétrico são sequencialmente gerados no interior do objeto multi-material.

[009] Também é fornecido um sistema de tomografia por impedância elétrica para gerar e medir sinais elétricos para reconstruir a imagem de uma região multi-material no interior de uma estrutura. A região pode ser caracterizada por materiais que têm condutividades ou admitividades diferentes que influenciam a transmissão de sinais elétricos através da região. O sistema inclui uma pluralidade de eletrodos disposta ao longo de pelo menos uma trajetória helicoidal tridimensional para fornecer um ou mais arranjos helicoidais de eletrodos que podem estar posicionados ao redor da região multi-material. O sistema também inclui o processamento do conjunto de circuitos a fim de obter, em resposta à aplicação de um conjunto de padrões de sinal, um conjunto medido de sinais elétricos dos eletrodos adequado para calcular a distribuição de condutividade ou admitividade representativa do interior da estrutura em uma região da estrutura sobre a qual os eletrodos estão posicionados. De acordo com as realizações, o sistema pode determinar os dados da imagem representativos da região multi-material na estrutura incluindo duas ou mais regiões que têm condutividades ou admitividades diferentes. Também de acordo com as realizações exemplificadoras, os dados medidos podem ser usados para reconstruir uma imagem de um objeto multi-material para exibição em um monitor ou transmissão eletrônica adicional.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[010] Estes e outros recursos, aspectos e vantagens da presente invenção se tornarão mais bem compreendidos quando a seguinte descrição detalhada for lida com referência aos desenhos em anexo nos quais caracteres iguais representam partes iguais ao longo dos desenhos, sendo que:

a Figura 1 é um diagrama de bloco de uma instalação de produção de petróleo de acordo com uma realização exemplificadora;

a Figura 2 é uma ilustração esquemática de uma tomografia por impedância elétrica (EIT) com base no imageamento do sistema que incorpora

um medidor de fluxo multifásico de acordo com uma realização da presente invenção;

a Figura 3 é uma vista lateral de uma série de eletrodos posicionados em arranjos helicoidais em um medidor de fluxo de acordo com uma realização da presente invenção;

a Figura 4 é uma vista desenrolada dos arranjos helicoidais mostrados na Figura 3; e

a Figura 5 é uma ilustração esquemática de um conjunto de circuitos que forma parte do sistema da Figura 2.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[011] A invenção é descrita agora em uma aplicação em que a distribuição de propriedades elétricas no interior de um objeto multi-material pode ser usada para determinar proporções de componentes em um fluxo multifásico. Neste exemplo, os múltiplos materiais estão fluindo juntamente dentro de um tubo ou um conduto. As realizações da presente invenção funcionam para fornecer um sistema e um método para medir as características de sistemas de multi-material, como aqueles usados na indústria do petróleo, para estimar frações e taxas de fluxo de petróleo, água, e gás de hidrocarbonetos que fluem através dos tubos. Embora a invenção seja descrita com referência a um uso em medias petróleo/gás/água, isto não é de forma alguma limitada a tais aplicações. Ao invés disso, a invenção é aplicável em uma ampla variedade de processos industriais, cuidados com a saúde e químicos como, por exemplo, processos de imageamento medicinal, diagnose de câncer e tratamento de água.

[012] O material múltiplo flui através do tubo pode incluir dois ou mais estados físicos dentre sólido, líquido e gasoso. A caracterização precisa de processos de fluxo multifásico permite projeto aprimorado e eficácias operacionais aumentadas de sistemas e do equipamento de processamento

usado nas indústrias do petróleo, farmacêutica, alimentícia e química. As características relevantes de fluxo usadas para predizer o desempenho dos processos multifásicos pode incluir, por exemplo, a distribuição espacial das fases (frações da fase volumétrica espacial), caracterização do regime de fluxo, área interfacial, e a velocidade absoluta e relativa entre as fases diferentes ou materiais. Com uma capacidade de determinar mais precisamente a distribuição espacial não-uniforme de materiais em um fluxo multifásico, torna-se possível gerenciar e controlar o processo para um resultado mais desejado. Por exemplo, em um oleoduto que transporta produtos do petróleo, a proporção de gás em relação ao constituinte líquido pode ser minimizada. No transporte da pasta semi-aquosa do carvão, a proporção volumétrica de água para carvão pode ser otimizada para assegurar máximo conteúdo de energia alcançável por volume unitário. Como outro exemplo, aplicável na otimização dos processos de fabricação, é importante monitorar e reduzir as distribuições não-uniformes de materiais submetidos à reação química ou conversão. Tais processos podem ter área interfacial reduzida entre os materiais devido, por exemplo, aos fluxos de recirculação que criam zonas ou concentrações de reação espacialmente não-uniformes.

[013] Desta forma, o conhecimento em tempo real das frações da fase volumétrica e dos componentes associados permite controle eficaz e em tempo hábil de processos multifásicos. No entanto, as exigências computacionais para gerar tais caracterizações podem adicionar complexidade indevida e podem atrasar o tempo de resposta necessária para implantação do controle em tempo hábil do processo que é monitorado. Por esta razão, muitos sistemas anteriores contaram com as aproximações para determinar as proporções do material e para caracterizar a separação de materiais em um sistema multifásico.

[014] Um sistema de EIT típico pode ser usado em aplicação

sequencial de sinais de entrada para os pares de eletrodos e para perceber os sinais em resposta a isto em um ou mais outros eletrodos. Por exemplo, as correntes podem fluir entre pares de eletrodos, um par por vez, com tensões sendo medidas nos eletrodos remanescentes. Alternativamente, as tensões podem ser aplicadas ao longo dos pares de eletrodos, um par por vez, com a corrente medida em um ou mais dos outros eletrodos. De acordo com as realizações exemplificadoras da invenção, as quantidades relativamente grandes de dados elétricos são adquiridas mais rapidamente através da aplicação simultânea de correntes ou tensões a todos os eletrodos. As correntes ou tensões aplicadas podem ter uma deslocamentos de fase ou frequência predefinidos ou podem estar eletricamente em fase entre si e podem ter variações da amplitude. Com a geração da quantidade aumentada de dados elétricos, é possível realizar uma razão maior de sinal para ruído e uma resolução mais elevada. Os padrões de campo elétrico específico são desenvolvidos no interior do objeto multi-material quando os eletrodos são excitados com padrões de sinal específico. Estes padrões de campo elétrico podem ser flexivelmente controlados, focalizados e modificados quando todos os eletrodos são simultaneamente excitados. Isto é especialmente relevante quando o corpo sob examinação compreende componentes com pequenas variações em permitividades ou condutividades relativas, enquanto um número relativamente grande de mediadas é necessário para fornecer resolução necessária.

[015] Ao gerar dados elétricos com sinais de corrente para reconstruir imagens com EIT, as correntes, injetadas no volume sendo imageado geralmente não percorrem em linhas retas de eletrodo para eletrodo. Ao invés disso, as correntes se disseminam, tomando trajetórias múltiplas que frequentemente envolvem todas as três dimensões. As suposições de que as correntes através de um volume percorrem ao longo de linhas retas ou curvas

em duas dimensões, como o plano no qual um conjunto de eletrodos está posicionado, podem resultar em erros devido às caracterizações inapropriadas das trajetórias de fluxo da corrente. As imagens de qualidade inferior, isto é, nas quais os detalhes das estruturas finas não podem ser facilmente resolvidos, resultam de correntes se disseminando na terceira dimensão (fora do plano ao longo do qual os eletrodos estão colocados) enquanto as correntes percorrem através de uma estrutura sob examinação. Por exemplo, a corrente elétrica pode seguir uma trajetória fora do plano na qual os eletrodos estão posicionados, ao redor das regiões de material no plano que tem condutividades elétricas inferiores. Em tais situações, a resolução da técnica de EIT é gravemente degradada devido aos sinais elétricos medidos não serem apenas indicativos da distribuição do material no plano dos eletrodos, mas também da distribuição do material fora do plano no qual os eletrodos são colocados. Portanto, é desejável encontrar técnicas através das quais a interrogação aprimorada do objeto multi-material possa ser efetuada de modo que o objeto multi-material tridimensional sob avaliação possa ser perfeitamente interrogado e a distribuição interna do material claramente determinada com resolução mais elevada.

[016] Com referência ao diagrama esquemático ilustrado na Figura 1, uma realização exemplificadora da invenção e é descrita para uma instalação de produção de petróleo típica 10 que tem múltiplos poços de petróleo 12_i conectados a um sistema de tubagem 14. O sistema de tubagem 14 inclui uma tubulação de produção 16 acoplada para receber fluxo F_i de cada poço 12_i e emitir um fluxo total F . O fluxo F_i de cada poço atravessa um medidor de fluxo multifásico (MPFM) 18 de acordo com a invenção antes de entrar na tubulação 16 e pode ser controlado através de um sistema de válvula 19 para regular a proporção geral de, por exemplo, fases líquida e gasosa.

[017] Cada medidor de fluxo multifásico é parte de um sistema

que permite medição de escoamentos do poço não processado próximo ao poço e pode, desta forma, fornecer monitoramento contínuo de desempenho do poço. A informação processada por cada sistema medidor de fluxo multifásico pode ser usada para melhor gerenciamento do reservatório e controle de fluxo. Os fluidos bombeados dos poços de petróleo 12_i são enviados para um separador de produção 20 através da tubulação de produção 16. Um separador de teste (não mostrado) pode ser incorporado aos sistemas medidores de fluxo multifásico. Uma vantagem de um sistema medidor de fluxo multifásico sobre um separador de teste é o tempo reduzido necessário para caracterizar a composição do fluxo.

[018] O separador de produção 20 separa óleo, gás e água bombeados dos poços. O separador de produção 20 pode incluir adicionalmente um ou múltiplos dispositivos de medição incluindo, por exemplo, um medidor de água par medir uma quantidade de água ou uma taxa na qual a água extraída de um poço, e um medidor de emulsão para medir uma quantidade de óleo extraída do poço. Outros dispositivos de medição típicos incluem um sensor de pressão na cabeça de poço e um termômetro.

[019] Posteriormente, referindo-se ao diagrama esquemático simplificado da Figura 2, é mostrada uma vista parcial de um sistema de reconstrução de imagem de tomografia por impedância elétrica (EIT) 40 que incorpora um dentre os MPFM's 18 da Figura 1. De acordo com uma realização exemplificadora da invenção, o sistema 40 é configurado para gerar imagens com base na reconstrução da condutividade. No entanto, deve-se compreender que, em princípio, reconstrução da imagem da EIT pode ser baseada na condutividade e/ou permitividade (as vezes, referida como admitividade). Com o sistema 40, as condutividades e/ou permitividades de materiais sendo observados são deduzidas com base nas medições elétricas do limite tomadas de eletrodos próximos à periferia do volume sob estudo enquanto cada

conjunto de sinais de corrente ou tensão é aplicado aos eletrodos.

[020] De acordo com um grupo de realizações exemplificadoras, grandes quantidades de dados são adquiridas através da obtenção de todos os eletrodos para cada um em uma série de conjuntos múltiplos de sinais. Isto é, as medições são repetidas para inúmeras configurações ou padrões diferentes de correntes e/ou tensões aplicadas. Quando um ou mais conjuntos de sinais de variação de tempo são aplicados, os dados são periodicamente adquiridos dos eletrodos.

[021] O sistema de MPFM ilustrado 40 inclui a fiação 42 que conecta eletrodos L_{44i} ao conjunto de circuitos eletrônicos. Os eletrodos 44_i são distribuídos ao longo de uma superfície 45 de um conduto 46 conforme mais completamente ilustrado nas Figuras 3 e 4. Na realização exemplificadora, a superfície 45 apresenta um formato geralmente cilíndrico formado ao redor de um eixo geométrico central de simetria 47. Embora não expressamente mostrado, o conduto 46 está posicionado na linha entre um dos poços de petróleo 12_i e a tubulação 16 da Figura 1 de modo que os componentes multifásicos atravessem o conduto. Os eletrodos 44_i são formados como um conjunto de p arranjos helicoidais, H_j , com j se situando entre 1 a p . Mais genericamente, os eletrodos podem ser formados como um arranjo ordenado ao longo de uma ou múltiplas trajetórias helicoidais. Na realização ilustrada, ter os eletrodos L formados em arranjos p , em cada arranjo compreende uma sequência de eletrodos r_{44i} , com i se situando entre 1 a r , formado ao longo de uma trajetória helicoidal. Como é bem ilustrado, os formatos helicoidais formados sobre superfícies tridimensionais, por exemplo, superfícies cilíndricas ou esféricas, podem ter uma forma regular que pode ser analiticamente descrito, ou podem ter geometrias espirais irregulares. As realizações descritas no presente documento compreendem eletrodos posicionados ao longo de trajetórias helicoidais que têm formatos regulares

para os quais as trajetórias sobre a superfície 45 podem ser descritas com matemática simples. Deve-se compreender que em outras realizações os eletrodos 44_i podem ser distribuídos ao longo de trajetórias mais complexas, incluindo trajetórias de formatos irregulares.

[022] A Figura 3 fornece uma vista lateral do MPFM 18 mostrando $p = 12$ arranjos helicoidais enroscados simetricamente ao redor do conduto 46. A Figura 4 apresenta uma vista de 360 graus dos 12 arranjos helicoidais mostrados na Figura 3. A vista dos arranjos helicoidais mostrados na Figura 4 é uma transformação dos contornos tridimensionais sobre o conduto com formato cilíndrico 4 para vistas em planta, referidas no presente documento como uma vista “desenrolada”. Isto é, a vista da Figura 4 é gerada como se a superfície com formato tridimensional fosse cortada aberta e assentada ao longo de um plano para fornecer uma vista em planta ou bidimensional na qual a abscissa representa a circunferência ao redor do conduto 46 e a ordenada está ao longo da direção axial.

[023] Nas realizações apresentadas, cada arranjo H_j é formado ao longo da trajetória de uma hélice regular. As Figuras 3 e 4 ilustram, com linhas sólidas, cada uma das trajetórias helicoidais ao longo das quais, para $j = 1$ a 12, cada um dos arranjos helicoidais H_j é formado. Os eletrodos 44_i são ilustrados com pontos ao longo de cada trajetória helicoidal. Para $j = 1$, um primeiro eletrodo, 44₁, está posicionado no anel $r = 1$ ao longo do plano P_1 , no arranjo H_1 e um último eletrodo 44₁₄₄ está posicionado no anel $r = 12$ ao longo do plano P_{12} , no arranjo H_{12} . As trajetórias helicoidais, ao longo das quais os eletrodos nos arranjos estão posicionados, podem ser geradas de acordo com as relações das Equações 1A, 1B e 1C para uma hélice não inclinada regular no espaço tridimensional:

$$1A \quad X(\theta) = [h/(2\pi\theta)]\theta$$

$$1B \quad Y(\theta) = R\cos(\theta)$$

$$1C \quad Z(\theta) = R\sin(\theta)$$

onde a coordenada X está ao longo de uma direção longitudinal paralela ao eixo geométrico 47 e as coordenadas Y e Z estão ao longo das direções transversais ao eixo geométrico 47 e ortogonais uma a outra. θ é o ângulo azimutal medido em um plano Y-Z transversal ao eixo geométrico X. O parâmetro h define o avanço por volta na direção X. R é o raio da trajetória helicoidal em relação a um eixo geométrico de simetria do conduto 46. Isto é, para as realizações que têm um formato regular, R corresponde a uma distância radial do eixo geométrico 47 para um ponto na trajetória ao longo da superfície 45.

[024] As curvas do espaço tridimensional para as trajetórias helicoidais podem ter geometrias helicoidais regulares geradas de acordo com as relações das Equações 2A, 2B e 2C:

$$2A \quad X(\theta) = [h/(2*\pi)]\theta + A_n\sin(n\theta)$$

$$2B \quad Y(\theta) = R\cos(\theta)$$

$$2C \quad Z(\theta) = R\sin(\theta).$$

[025] O termo $A_n\sin(n\theta)$, na equação $X(\theta)$, é um componente de modulação que confere uma inclinação positiva ou negativa para cada uma das voltas em relação ao plano Y-Z, em proporção à magnitude e sinal do termo A_n . De acordo com o valor de n, o termo $A_n\sin(n\theta)$ também introduz uma modulação, isto é, uma variação sinusoidal, em cada volta de 360 graus da curva (isto é, trajetória helicoidal) sobre o eixo geométrico. Para $n = 1$, um formato elipsoidal é conferido a cada volta. Os padrões mais complexos, que têm componentes sinusoidais que correspondem a $n > 1$ podem ser adequados para o projeto das trajetórias helicoidais ao longo das quais os eletrodos estão colocados. Com a adição do termo $A_n\sin(n\theta)$ e com $n = 1$, as trajetórias helicoidais incluem uma inclinação em relação aos planos ortogonais com o eixo geométrico X, por exemplo, o eixo geométrico de simetria do conduto 46.

[026] Ainda, mais genericamente, uma curva do espaço tridimensional de uma trajetória com formato helicoidal pode ser gerada de acordo com as equações 3:

$$3A \quad X(\theta) = [h/(2\pi)]\theta \pm \sum A_n f_1(n\theta)$$

$$3B \quad Y(\theta) = R f_2(\theta)$$

$$3C \quad Z(\theta) = R f_3(\theta)$$

sendo que f_1 , f_2 e f_3 são funções arbitrárias que podem ser expressões numéricas ou trigonométricas, mas não são tão limitadas. Além disso, as trajetórias helicoidais ao longo das quais os eletrodos estão posicionados estão ilustradas nos desenhos como cada uma fazendo uma única volta ao redor do eixo geométrico 47, mas deve-se compreender que o número de revoluções que a trajetória toma ao redor do eixo geométrico é uma escolha de projeto.

[027] As realizações exemplificadoras do arranjo de eletrodos são altamente simétricas, mas inúmeras distribuições de eletrodos não simétricas 44_i dentro e entre os diferentes arranjos H_j podem ser logradas. Para a realização ilustrada, os eletrodos 44_i em cada sequência de eletrodos r em cada arranjo helicoidal H_j são espaçados equidistantes de um próximo ou eletrodo anterior 44_i no mesmo arranjo H_j . Este espaçamento equidistante entre os eletrodos em cada arranjo é o mesmo espaçamento equidistante entre os eletrodos em cada outro arranjo. Além disso, os arranjos H_j estão separados ao longo da superfície 45 por um ângulo de fase predeterminado. Deste modo, no dado exemplo, com $p = 12$, cada arranjo está rotacionalmente separado 30 graus, ao redor do eixo geométrico 47, de um próximo ou arranjo anterior. Com o espaçamento equidistante entre os eletrodos em diferentes arranjos helicoidais, isto resulta em conjuntos circulares de eletrodos, isto é, uma série de anéis do tipo circular, R , cada um compreendendo $p = 12$ eletrodos, com cada anel R espaçado equidistante de um próximo ou anel anterior R e com os

12 eletrodos em cada anel posicionados 30 graus separados, ao redor do eixo geométrico 47, ao longo da superfície do conduto 45 em um padrão circular. Por exemplo, com o conduto tendo uma altura, h , mensurável ao longo do eixo geométrico 47, o espaçamento entre cada anel R pode ser ajustado a $h/12$. A Figura 4 ilustra cada um dos 12 anéis r_i ($i = 1 - 12$) cada um formado ao longo de um plano diferente P_i .

[028] Na Figura 2, a vista do MPFM 18 está em seção transversal ao longo do plano P_i que corta através de tal anel r_i . O anel exemplar r_i compreende um eletrodo 44_i de cada um dos doze arranjos helicoidais exemplares H_j . Para propósitos de ilustração da invenção, os arranjos helicoidais compreendem coletivamente 144 eletrodos 44_i formados sobre a superfície cilíndrica 45 do conduto 46 na disposição de 12 anéis. No entanto, o número total, L , de eletrodos posicionados sobre um volume a ser imageado pode ser menor que ou maior que 144, dependendo, em parte, do tamanho do volume sob estudo e da resolução de imagem desejada. Em uma realização, cada um dos eletrodos 44_i pode estar montado ao longo da parede interna do conduto 46 com uma conexão elétrica através da fiação 45 de uma fonte de sinal externa que atravessa a parede externa para conectar com o eletrodo. Um revestimento pode ser aplicado a cada eletrodo para reduzir a resistência ao contato entre o eletrodo e o meio que flui através do conduto 46.

[029] Os 12 eletrodos 44_i são mostrados na Figura 2 conforme configurado em uma disposição circular ao longo da superfície cilíndrica 45 do conduto 46 e em um plano, P_i , que corta através do eixo geométrico central 47. Neste exemplo, e nas figuras geralmente, o plano P_i é ortogonal ao eixo geométrico 47, mas os anéis R podem cortar através do eixo geométrico 47 em ângulos variáveis. Além disso, os arranjos helicoidais H_i podem ser formados ao longo de outras superfícies tridimensionais como superfícies que têm contornos esféricos ou elípticos. Os anéis R não precisam ter formatos

circulares.

[030] A Figura 2 ilustra as conexões dos 12 eletrodos 44_i no anel R com a fonte de sinal e estas conexões exemplares de todos os eletrodos 44_i com a fonte de sinal através da fiação 45 aos conjunto de circuitos eletrônicos 48 que incluem, por exemplo, para cada eletrodo: uma fonte de corrente ou tensão, um conversor de D em A, um conversor de A em D, um amplificador de diferencial e um ou mais filtros. O conjunto de circuitos 48 inclui adicionalmente multiplexadores analógicos, conjunto de circuitos clock, e/ou uma unidade de I/O digital acoplada a um computador 50 a fim de fornecer conjuntos de sinais de entrada aos eletrodos. As disposições específicas para o conjunto de circuitos 48 são conhecidas na técnica e não estão adicionalmente descritas no presente documento devido ao fato de que a ilustração da invenção não exige ilustração dos projetos de circuito específico.

[031] O computador 50 pode compreender processadores de alta velocidade, incluindo um processador de sinal digital convencional do tipo usado para a reconstrução da imagem, e um visor adequado 52 para visualização de imagens geradas de acordo com a invenção. Outros conjuntos de circuitos de processamento arranjos de porta de campo programável (FPGA's) e dispositivos lógicos programáveis complexos (CPLD's) podem ser incorporados ao computador 50 ou em outras porções do sistema 40.

[032] Quando cada conjunto de sinais elétricos é aplicado aos eletrodos 44_i de um dos arranjos helicoidais H_j , o campo elétrico produzido no interior do volume confinado pela superfície 45 volta de maneira helicoidal, isto é, de maneira com forma de parafuso. Os sinais aplicados aos arranjos diferentes dos arranjos helicoidais H_j podem ser variados de uma maneira coordenada, por exemplo, com relações de fase definidas, para aumentar o padrão de variação de tempo gerado por um dos arranjos helicoidais H_j . A seguinte discussão exemplar presume que os sinais de tensão são aplicados

aos eletrodos e que os sinais de corrente são adquiridos em resposta a isto a fim de gerar dados necessários para a reconstrução da imagem. As fontes de tensão são usadas para aplicar cada conjunto de padrões aos eletrodos 44_i , e o conjunto correspondente sinais de corrente em cada um dos eletrodos é medido. Em outras realizações, ao invés de, ou em adição a, aplicar os conjuntos de padrões de tensão, um ou mais conjuntos de padrões de fonte de corrente são aplicados aos eletrodos e as tensões são medidas ao longo dos eletrodos com base nas correntes injetadas. A aplicação de cada padrão de sinal em um dado instante, t , nos outros eletrodos dos eletrodos em cada arranjo helicoidal difere dentre os eletrodos.

[033] Em uma implantação, os conjuntos múltiplos de padrões de sinal elétrico são aplicados aos arranjos helicoidais H_j com uma modulação de fase. Isto é, um deslocamento de fase crescente é atribuído a cada um na sequência de arranjos helicoidais H_j . Por exemplo, para o conjunto k^{th} de padrões, ao observar os sinais aplicados à sequência de eletrodos em um anel particular, R , um deslocamento de fase progressivamente crescente, Φ , é conferido dentro os $p = 12$ eletrodos. No eletrodo i^{th} no anel r^{th} , o deslocamento de fase no sinal aplicado é dado por:

$$(4) \quad \Phi = (2\pi k(i-1)/L - 2\pi k(r-1)/R) \text{ Mod } 2\pi$$

onde Mod é o operador do módulo. Isto é, Φ é o remanescente que resulta da divisão de $(2\pi k(i-1)/L - 2\pi k(r-1)/R)$ por 2π .

[034] Com a modulação de fase, todos os eletrodos recebem um sinal que tem a mesma amplitude máxima A_0 . Por exemplo, a amplitude, A , do padrão k^{th} no eletrodo i^{th} em qualquer um dos anéis pode ser dada por

$$(5) \quad A_{k,i} = A_0 \sin(\omega t + \Phi)$$

ou

$$(6) \quad A_{k,i} = A_0 \sin(\omega t - \Phi)$$

mas, em outras realizações, os eletrodos nos arranjos helicoidais

podem ser variados com a modulação de amplitude. Por exemplo, a amplitude, A , do padrão k^{th} no eletrodo i^{th} no anel r^{th} pode ser dada por

$$(7) \quad A = A_0 \cos(2\pi k(i-1)/L - 2\pi k(r-1)/R)$$

onde, novamente, A_0 é a amplitude máxima. Os conjuntos similares de sinais L podem ser gerados através da substituição da função cosseno nas Equações (5), (6) ou (7) pela função seno.

[035] Embora as realizações possam ser diferentes com base em se os sinais aplicados aos arranjos diferentes dos arranjos helicoidais H_j são baseados na modulação de fase, amplitude ou frequência, um recurso geral das realizações apresentadas é que quando cada conjunto de sinais elétricos é aplicado aos eletrodos 44_i o campo elétrico de tempo variável produzido no interior do volume confinado pela superfície 45 assemelha-se à volta de um parafuso helicoidal.

[036] A Figura 5 é um diagrama esquemático simplificado de um sistema de EIT de tensão aplicada 60 que forma parte do sistema 40 da Figura 2. O sistema 60 aciona os $p = 12$ arranjos helicoidais H_j cada um compreendendo $r = 12$ eletrodos 44_i . O número total de eletrodos $L = rp = 144$. Neste exemplo, os eletrodos r em cada arranjo são, cada um, conectados a um circuito de fonte de tensão diferente 62_i para receber um sinal de tensão modulada de fase, amplitude ou frequência para gerar o campo no interior do volume confinado pela superfície 45 . Os circuitos 62_i podem incluir um amperímetro para medir sinais de corrente gerados em resposta às tensões aplicadas, e um voltímetro para medir diretamente a tensão aplicada. Uma rede de comutação 63 permite que um único circuito de calibração 64 seja conectado a qualquer um dos circuitos da fonte/amperímetro/voltímetro de tensão para permitir que todo o sistema seja calibrado para uma única fonte de referência. Um controlador digital (não mostrado) faz interface com os componentes supracitados para operar as funções de comutação incluindo

calibração, geração de sinal e aquisição de dados de medição. Os dados de medição são processados de acordo com a invenção pelo computador 50 para determinar a distribuição de condutividade elétrica no plano P ao longo das quais os eletrodos estão posicionados.

[037] A distribuição de condutividade elétrica e permitividade é adicionalmente processada para determinar as características do material do fluxo multifásico, incluindo a distribuição de fases diferentes ou distribuição de materiais diferentes na fase líquida, por exemplo, óleo e água. A análise da distribuição da condutividade elétrica pode determinar os regimes de fluxo, as frações de fase e a velocidade de componentes individuais do sistema multi-material. Os regimes de fluxo podem, por exemplo, incluir fluxo em borbulhas, fluxo em rotatividade, fluxo de lama ou fluxo anular.

[038] Nas realizações de fonte de tensão, o fluxo de corrente entre os eletrodos é uma função de tensões relativas aplicadas ao longo de todos os eletrodos, da distribuição de condutividade e permitividade ao longo do plano P sobre o qual os eletrodos estão configurados. Por exemplo, o material pode ser apenas óleo ou pode ser uma mistura líquida óleo-água bem como uma fase gasosa separada. Dependendo da distribuição de constituintes do material, a condutividade e permitividade entre os eletrodos irão variar e, conseqüentemente, o nível de corrente entre os eletrodos também irá variar. Desta forma, com a aplicação de um ou mais conjuntos de tensão e dos dados da corrente medida correspondente, uma matriz de valores de condutividade que corresponde à condutividade variada ao longo do plano P pode ser calculada. Devido a estes valores de condutividade corresponderem às condutividades e permitividades dos materiais que atravessam o plano P, ao analisar as condutividades, a composição do material ou a distribuição do fluxo de fase pode ser determinada.

[039] Cada conjunto de padrões de tensão é uma função variável

de tempo que contribui para a produção de um campo elétrico variável de tempo dentro do conduto 44, isto é, um campo elétrico que se assemelha a uma hélice que gira ao redor do eixo geométrico 47 a uma velocidade angular que é uma função da frequência de sinal aplicada, ω , ou múltiplos inteiros disto. Para uma frequência constante ω , a velocidade angular com a qual o campo gira, será constante. Para o sistema 60 da Figura 5, os circuitos 62 dedicados para cada eletrodo, todos operando sob um sinal de clock comum, geram, cada um, uma forma de onda que tem uma fase distinta em relação à fase da forma de onda gerada para o eletrodo adjacente no mesmo arranjo helicoidal H_j . Deste modo, múltiplas formas de onda de fase deslocada são simultaneamente aplicadas aos eletrodos diferentes dos eletrodos igualmente separados em cada arranjo helicoidal H_j e os eletrodos nos arranjos diferentes dos arranjos têm sua fase deslocada em relação um ao outro. Isto é, para os $p = 12$ arranjos helicoidais H_j , que estão separados em 30 graus sobre o eixo geométrico 47, os sinais aplicados à sequência de eletrodos no mesmo anel, R, que são membros de diferentes arranjos helicoidais, cada fase tem uma amplitude máxima A_0 que é a fase deslocada em relação ao sinal aplicado ao próximo e ao eletrodo anterior ao longo do anel. Coletivamente, os sinais de variação de tempo de entrada geram um padrão de campo elétrico oscilante que gira sobre o eixo geométrico 47.

[040] Em uma realização, quando apenas a distribuição de condutividade deve ser determinada, o número total de conjuntos de padrões de tensão aplicado aos eletrodos para adquirir informação completa sobre a distribuição de fase pode ser tão pequeno quanto $k = L/2$. Os padrões $L/2$ ou podem ser padrões de avanço, que produzem um campo elétrico que oscila em uma direção horária sobre o eixo geométrico 47, ou padrões inversos, que produzem um campo elétrico que oscila em uma direção anti-horária sobre o eixo geométrico 47.

[041] Um processo de aquisição de dados de acordo com uma realização da invenção aplica sequencialmente conjuntos k de padrões de tensão aos eletrodos 44_i . Em outras realizações, os conjuntos de sinais elétricos aplicados podem compreender um ou mais conjuntos de valores de corrente e um ou mais conjuntos de valores de tensão. Para o propósito de melhor entendimento do primeiro conjunto de sinal elétrico, é presumido como sendo valores de conjunto de tensão.

[042] Para cada conjunto de padrões de tensão aplicados, um conjunto de padrões de sinal elétrico é medido, por exemplo, de acordo com o sistema 60 da Figura 6. Um número exemplificador de elementos de dados adquiridos para cada conjunto de padrões de tensão aplicados é o produto do número de eletrodos e do número de medidas tomadas por ciclo de sinal aplicado. Com o conjunto de circuitos 48 do sistema 40 incluindo conversor A/D, para cada padrão de excitação de tensão, uma série de tempo de dados de corrente é gravada para cada um dos eletrodos L . Estes dados da série de tempo são processados para extrair amplitudes e fases de correntes em todos os eletrodos L . Os dados da série de tempo em cada eletrodo fornecem um valor de amplitude e de fase para a corrente naquele eletrodo. Por conseguinte, para os eletrodos L existem medidas L . O processo é repetido para todos os conjuntos k de padrões de tensão para fornecer elementos kL de dados da série de tempo medido.

[043] Com base em todo o conjunto de sinal elétrico aplicado (L , L), todo o conjunto resultante de sinais elétricos medidos (L , L), e um inverso de todo o conjunto de sinal elétrico aplicado, uma matriz de impedância ou uma matriz de admitância que representa a distribuição do material no conduto é determinada. Em uma realização, um pseudo inverso pode ser utilizado para determinar o inverso do conjunto de sinal aplicado. A matriz calculada é representativa da distribuição do material no conduto e apresenta o tamanho (L

x L). É uma matriz simétrica com entradas complexas que é igual a sua própria transposição— isto é, o elemento na fileira i th e na coluna j th de uma matriz a é igual ao elemento na fileira j th e na coluna i th da matriz a , para todos os índices i e j :

$$(8) \quad a_{i,j} = a_{j,i}$$

[044] Com base nos elementos kL de dados da série de tempo medido, uma matriz de condutividade é determinada que é representativa da distribuição do material no conduto 46. A reconstrução da imagem é realizada com base na matriz de condutividade e ou admitividade. Para discussão adicional nas determinações exemplificadora dos valores de matriz indicativos de distribuição do material, vide Pedido de Patente U.S. número de série 12/652,116, incorporado ao presente documento a título de referência.

[045] O conjunto de sinal aplicado pode ser representado por uma matriz P e o conjunto de sinal medido pode ser por uma matriz Q . A rede de impedância é, então, representada por uma matriz Z , onde

$$(8) \quad Z = P * Q^{-1}.$$

[046] No entanto, a matriz Q é um conjunto de sinal medido e é uma matriz mal colocada. Por conseguinte, é difícil encontrar o inverso desta matriz. Deste modo, calcular a matriz de admitância é mais fácil neste caso já que a matriz de admitância pode ser calculada conforme dado abaixo:

$$(9) \quad Y = Q * P^{-1}.$$

[047] O conjunto de sinal aplicado, por exemplo, um conjunto de tensão, neste caso apresenta melhor fidelidade que o conjunto de sinal medido, por exemplo, um conjunto de corrente. Adicionalmente, já que o conjunto de sinal aplicado é conhecido muito antes, pode ser armazenado no computador e seu inverso também é armazenado no computador. Deste modo, para determinar a matriz de admitância, o conjunto de sinal medido é diretamente multiplicado com o inverso disponível do sinal de tensão aplicado. Em uma

realização, a distribuição do material também pode ser representada e calculada por uma matriz de impedância Z , se o conjunto de sinal aplicado for um conjunto de corrente M e o conjunto de sinal medido for um conjunto de tensão S . A matriz de impedância Z neste caso é dada por

$$(10) \quad Z = S^* M^{-1}.$$

[048] Em ambas as equações (9) e (10), em uma realização, um pseudo inverso é utilizado para calcular inversos de matrizes P e M . As técnicas do pseudo inverso pode incluir, por exemplo, inverso de um lado, inverso de Drazin, inverso Group, inverso Bott–Duffin, ou pseudo inverso Moore-Penrose. A técnica de cálculo do inverso é usada desta forma para obter um cálculo direto de uma matriz de impedância ou uma matriz de admitância ao invés de usar um método numérico ou um método iterativo. A matriz de admitância Y e a matriz de impedância Z das equações (9) e (10) podem, então, ser calculadas como:

$$(11) \quad Y = Q^* ((P^H P)^{-1} P^T)$$

$$(12) \quad Z = S^* ((M^H M)^{-1} M^T)$$

onde, P^H e M^H são transposições conjugadas de matrizes P e M .

[049] Em alguns sistemas do processo, os valores de admitância ou impedância dos componentes do sistema multi-material podem variar com o tempo. No entanto, já que o conjunto de sinal aplicado é constante e o conjunto de sinal medido é medido em tempo real, uma matriz de admitância ou matriz de impedância variante de tempo também pode ser calculada. Em uma realização, várias matrizes ou tabelas pré computadas de modelos aleatórios de regime de fluxo são armazenadas no computador e quando o sistema determina a representação da rede elétrica, é simplesmente comparada com matrizes armazenadas e, deste modo, o regime de fluxo é identificado. Em outra realização, a matriz de impedância ou admitância é analisada através de um algoritmo heurístico para determinar o fluxo de fase ou distribuição do

material. O algoritmo heurístico pode incluir um algoritmo lógico difuso ou algoritmo genético ou algoritmo de rede neural, por exemplo. O algoritmo lógico difuso fornece uma forma simples para chegar a uma conclusão definida com base na informação de entrada vaga, ambígua, imprecisa, barulhenta, ou que falta. Os resultados do algoritmo lógico difuso são aproximados ao invés de precisos. Adicionalmente, uma rede neural pode ser treinada para identificar regimes de fluxo e computar a distribuição de condutividade mais provável com base no histórico do fluxo e nas matrizes pré computadas para determinar as características do sistema multi-material.

[050] Foi descrito um método para exibição de uma imagem de um interior de uma estrutura que pode ser uma imagem de um meio multifásico, ou uma imagem médica de órgãos ou outras porções de um corpo humano, mas, mais genericamente, uma imagem de recursos no interior de um volume caracterizado por propriedades elétricas diferentes. Nas realizações apresentadas, uma imagem é gerada para caracterizar fluidos multifásicos (por exemplo, óleo, água e gás de hidrocarboneto) que fluem através de um conduto, ou um volume contendo múltiplas regiões que têm diferentes condutividades que influenciam na transmissão de sinais elétricos através do volume. A informação da imagem determinada pode ser usada para estimar as proporções relativas de material líquido e gasoso que flui através do conduto.

[051] Um recurso das realizações da invenção é a provisão de uma série de eletrodos posicionados em um arranjo helicoidal e a provisão de tais múltiplos arranjos helicoidais de eletrodos sobre uma superfície tridimensional. Os conjuntos de sinal elétrico podem ser aplicados aos eletrodos com uma variedade de deslocamentos de fase, amplitude ou modulações de frequência para gerar um campo útil pra a caracterização do interior da estrutura. Com a estrutura incluindo duas ou mais regiões que têm diferentes condutividades, a invenção determina uma imagem representativa

do interior da estrutura de uma maneira com uma abordagem mais eficaz do ponto de vista computacional para a geração de imagem com tomografia por impedância elétrica.

[052] Nas realizações apresentadas da invenção, uma série de conjuntos de sinal elétrico aplicado em que cada um compreende padrões de entrada de tensão e o conjunto de sinal elétrico medidos em que cada um compreende níveis de corrente. Em outras realizações, uma série de conjuntos de sinal elétrico aplicado em que cada um compreende padrões de entrada de corrente e os conjuntos de sinal elétrico medido em que cada um compreende níveis de tensão medidos. Ainda em outras realizações, alguns na série de conjuntos de sinal elétrico aplicado compreendem padrões de entrada de tensão enquanto outros na série de conjuntos de sinal elétrico aplicado compreendem padrões de entrada de corrente, e alguns dos conjuntos de sinal elétrico medido compreende níveis de corrente medida enquanto outros dos conjuntos de sinal elétrico medido compreendem níveis de tensão medida.

[053] Embora apenas determinados recursos da invenção tenham sido ilustrados e descritos no presente documento, muitas modificações e mudanças irão ocorrer para os técnicos no assunto. Portanto, deve-se compreender que as reivindicações em anexo destinam-se a cobrir todas as modificações e mudanças que se situam dentro do espírito verdadeiro da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA GERAR DADOS PARA RECONSTRUIR A DISTRIBUIÇÃO DE PROPRIEDADES ELÉTRICAS NO INTERIOR DE UM OBJETO MULTI-MATERIAL, em uma região interior de uma estrutura, caracterizado por compreender:

configurar uma pluralidade de eletrodos (44i) ao longo de uma trajetória helicoidal tridimensional ao longo de uma superfície (45) de um conduto (46) para fornecer um arranjo tridimensional (H_j) de eletrodos (44i) ao redor do objeto multi-material;

aplicar um conjunto de padrões de sinal para introduzir nos eletrodos (44i) ao longo da trajetória helicoidal tridimensional para produzir um campo elétrico no interior de um objeto multi-material que gira de modo helicoidal e obter, em resposta à aplicação do conjunto de padrões de sinal, um conjunto medido de sinais elétricos dos eletrodos (44i);

calcular, com o conjunto medido de sinais elétricos, uma distribuição de condutividade ou admitividade tridimensional representativa do interior da estrutura em uma região da estrutura ao redor da qual os eletrodos (44i) são posicionados; e

determinar dados de imagem tridimensional representativos da região multi-material na estrutura incluindo duas ou mais regiões que têm condutividades ou admitividades diferentes.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por:

a etapa de configurar a pluralidade de eletrodos (44i) incluir posicionar os eletrodos (44i) ao longo de uma série de trajetórias helicoidais tridimensionais para fornecer p arranjos helicoidais (H_j) sendo que cada um compreende uma sequência de r eletrodos (44i); e

a etapa de aplicar o conjunto de padrões de sinal para introduzir

nos eletrodos (44i) incluir, ao aplicar o conjunto de padrões de sinal aos eletrodos (44i) em um determinado instante, aplicar um padrão de sinal diferente a outros dos eletrodos (44i).

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por cada arranjo helicoidal compreender r_i eletrodos (44i) dispostos como uma sequência ordenada sendo que, para um dado valor de i , os eletrodos (44i) r_i , cada um associado a uma hélice diferente, são posicionados ao longo de um plano comum P_i em um padrão do tipo anel.

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos conjuntos múltiplos de padrões de sinal serem sequencialmente aplicados aos eletrodos (44i) e a série de conjuntos de sinal elétrico aplicado, em que cada um compreende padrões de entrada de tensão e um conjunto de sinal elétrico medido de níveis de corrente é obtido para cada conjunto de sinal aplicado.

5. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela estrutura compreender o conduto (46) através do qual os materiais que têm condutividades diferentes fluem.

6. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela estrutura compreender o conduto (44) através do qual os materiais que têm fases diferentes fluem.

7. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelos materiais incluírem óleo e um gás de hidrocarboneto.

8. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pela informação da imagem ser usada para determinar as proporções relativas do material líquido e gasoso que flui através do conduto (46).

9. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por incluir adicionalmente fornecer os dados da imagem para uma tela para visualização (52) de uma imagem representativa do interior da estrutura.

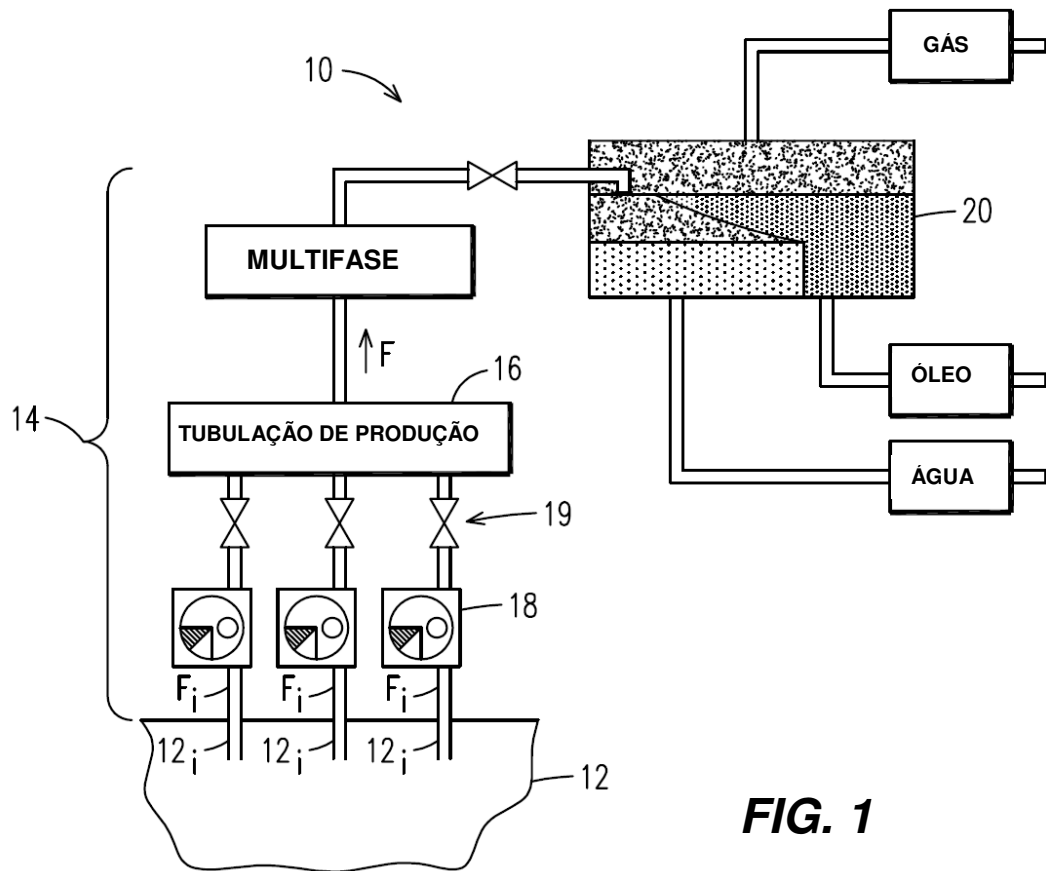


FIG. 1

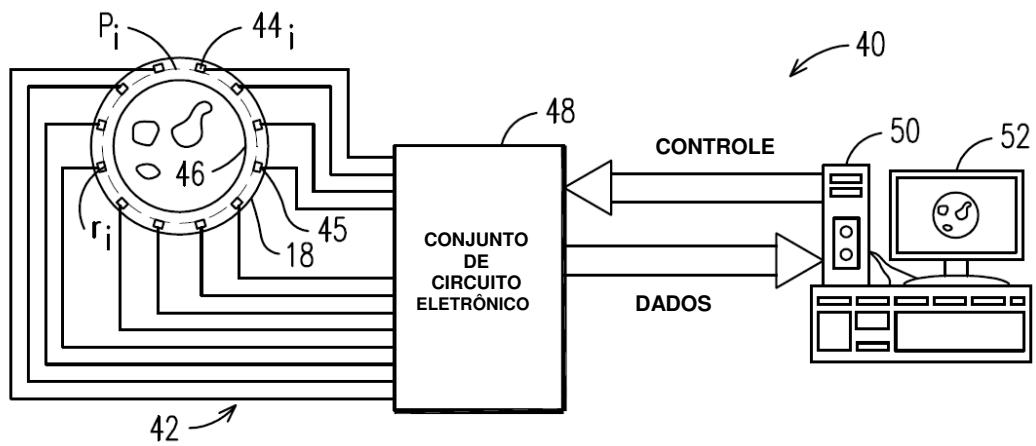
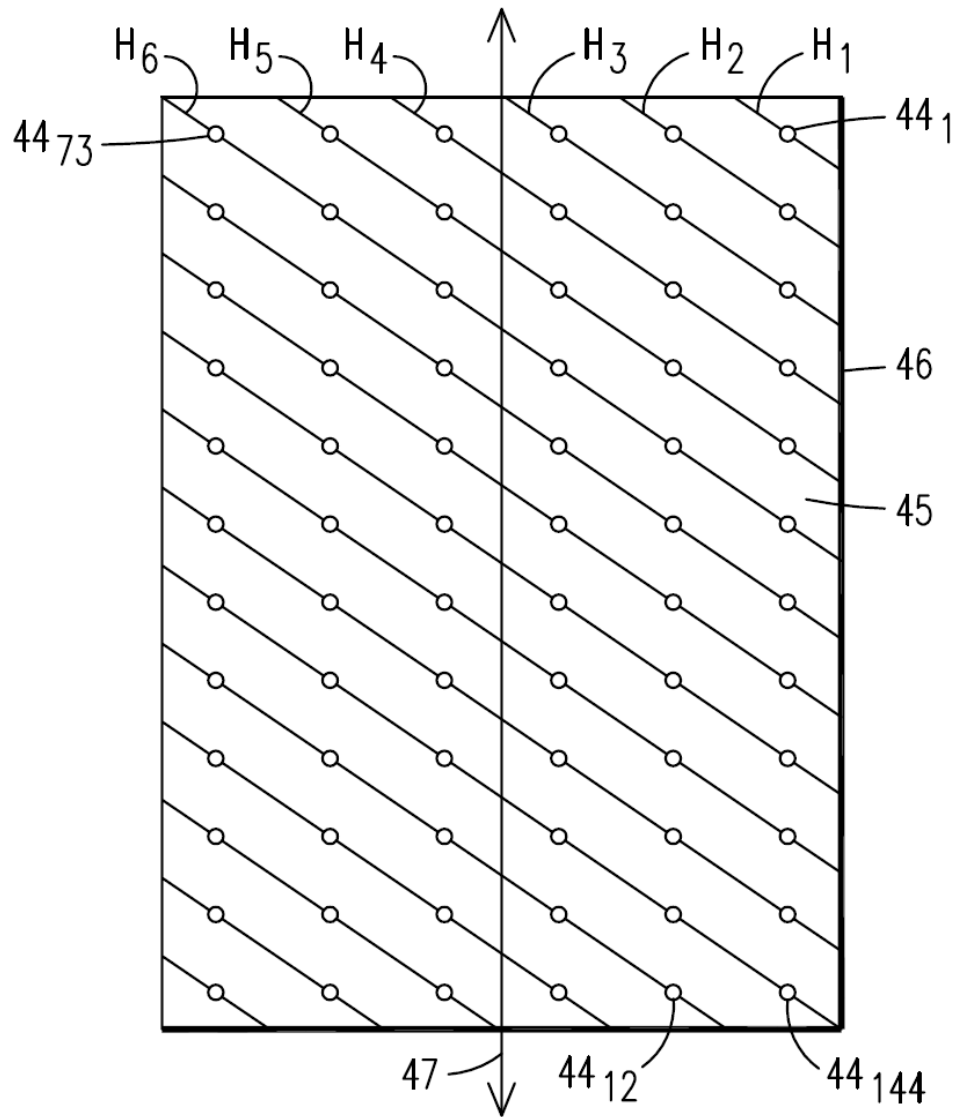


FIG. 2

**FIG. 3**

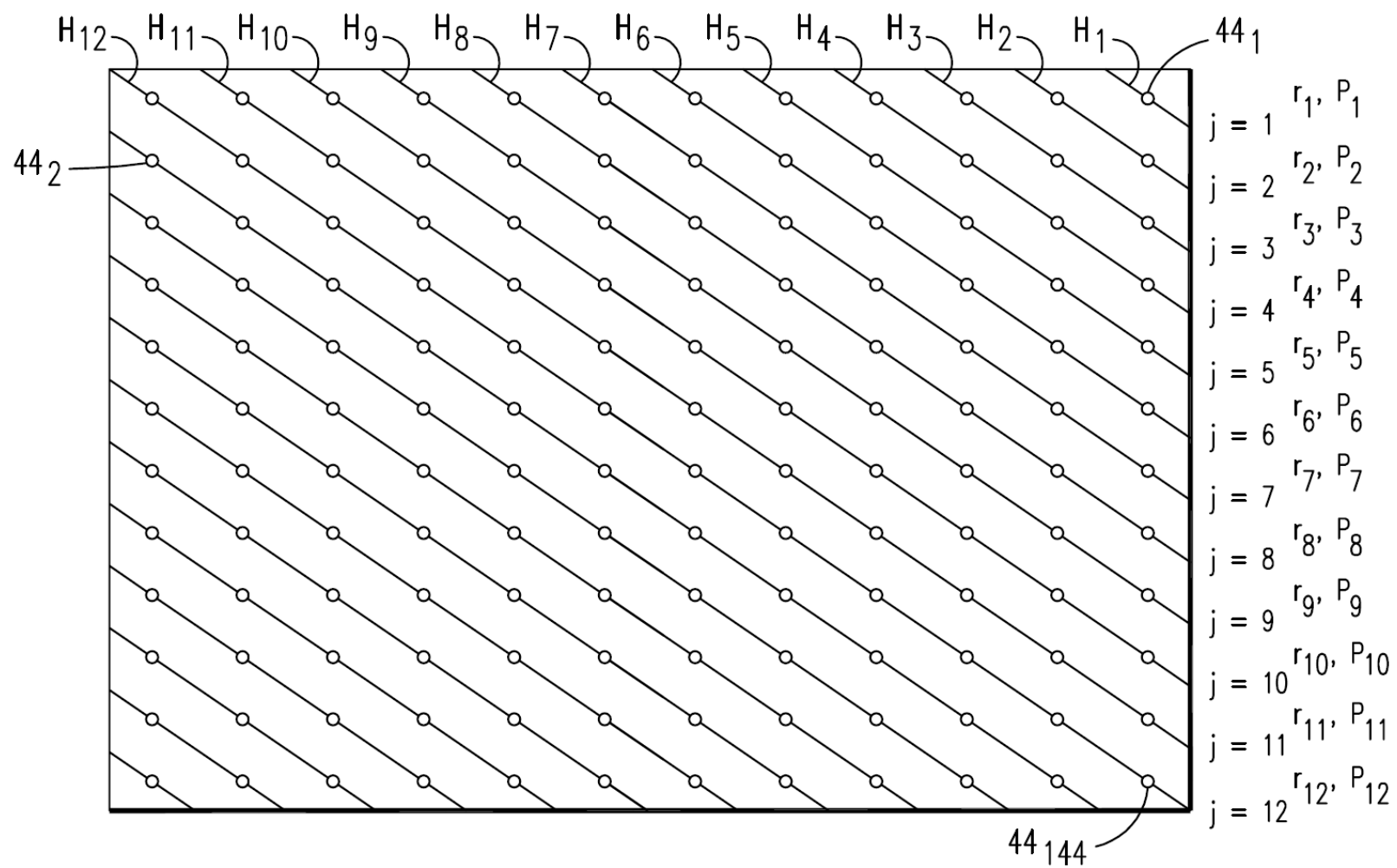


FIG. 4

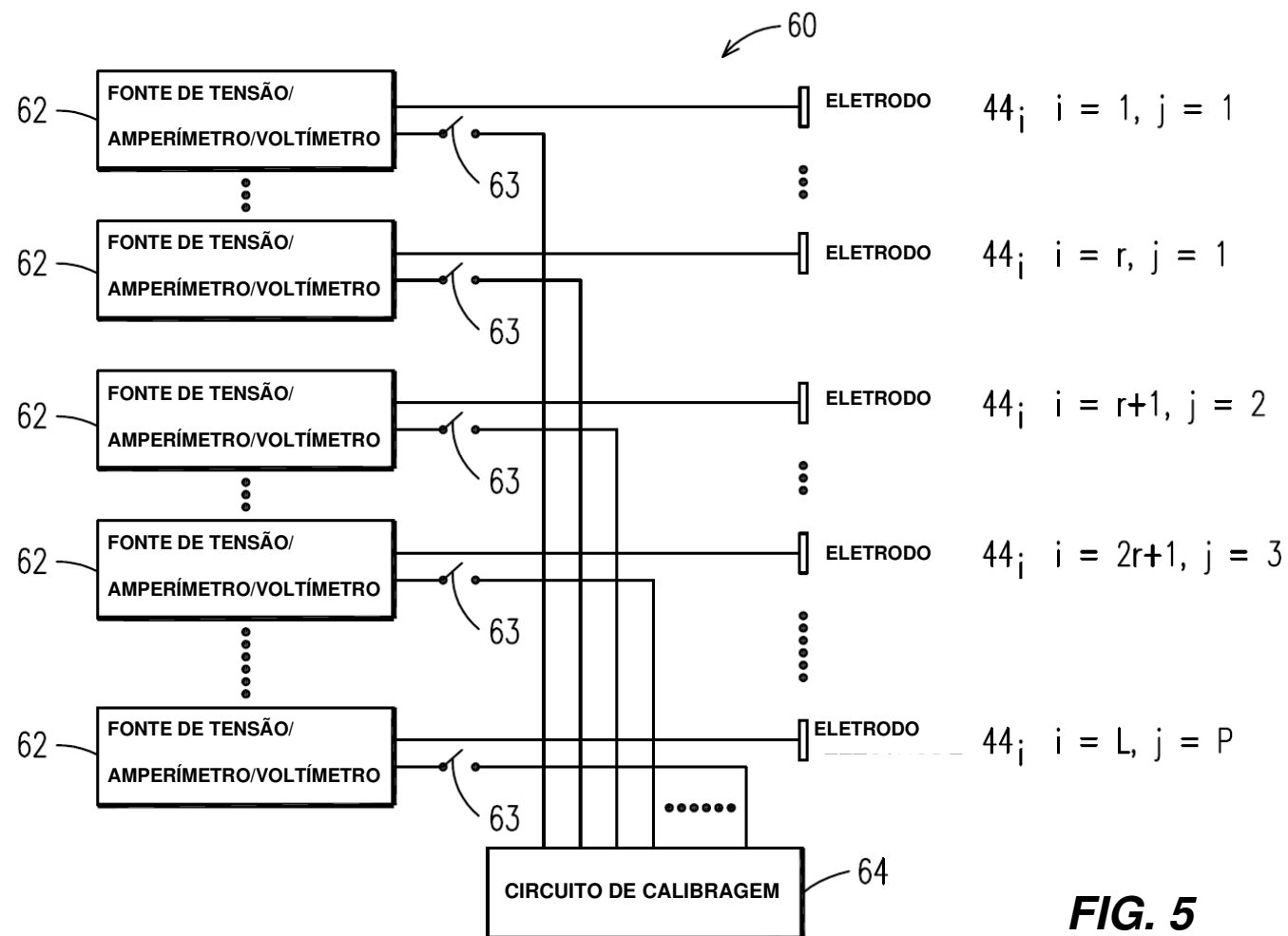


FIG. 5