



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

(11) BR 112016009632-0 B1



(22) Data do Depósito: 23/10/2014

(45) Data de Concessão: 04/01/2022

(54) Título: EQUIPAMENTO DE DUTO E MÉTODO DE DETECÇÃO DE DEFEITOS NO INTERIOR DE UM CORPO DE TUBO FLEXÍVEL ATRAVÉS DO DITO EQUIPAMENTO DE DUTO

(51) Int.Cl.: G01M 3/18; G01M 3/38.

(30) Prioridade Unionista: 29/10/2013 GB GB 1319105.1.

(73) Titular(es): BAKER HUGHES ENERGY TECHNOLOGY UK LIMITED.

(72) Inventor(es): JOHN CROSS MCNAB; GEOFFREY STEPHEN GRAHAM; PHILIP MICHAEL HUNTER NOTT.

(86) Pedido PCT: PCT GB2014053158 de 23/10/2014

(87) Publicação PCT: WO 2015/063457 de 07/05/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 29/04/2016

(57) Resumo: EQUIPAMENTO DE DUTO E MÉTODO. Um equipamento de duto que compreende um corpo de tubo flexível e um dispositivo de detecção. O corpo de tubo flexível inclui uma fibra óptica que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo flexível, a fibra óptica estando envolvida por um tubo de metal. O dispositivo de detecção compreende um sensor óptico e um sensor elétrico. O sensor óptico está acoplado a uma primeira extremidade da fibra óptica, o sensor óptico estando posicionado para injetar pulsos ópticos na fibra óptica e detectar a luz dispersa ou refletida. O sensor elétrico está acoplado a uma primeira extremidade do tubo de metal para detectar uma variação de impedância elétrica entre a primeira extremidade do tubo de metal e um terminal separado. A variação de luz dispersa ou refletida, ou a variação da impedância, é indicativa de um defeito potencial no corpo de tubo.

“EQUIPAMENTO DE DUTO E MÉTODO DE DETECÇÃO DE DEFEITOS NO INTERIOR DE UM CORPO DE TUBO FLEXÍVEL ATRAVÉS DO DITO EQUIPAMENTO DE DUTO”.

[0001] A presente invenção se refere a um equipamento de duto e método. Em particular, a presente invenção se refere a um equipamento de duto que compreende um corpo de tubo flexível e um equipamento e método de detecção para detecção de defeitos potenciais no interior do corpo de tubo flexível. Concretizações particulares se referem a um método de formação de tal equipamento de duto.

[0002] Tradicionalmente, um tubo flexível é usado para o transporte de fluidos de produção, tais como petróleo e/ou gás e/ou água, de um local para outro. Um tubo flexível é particularmente útil ao conectar um local submarino (a qual pode estar em águas profundas, isto é, 1000 metros ou mais) a um local ao nível do mar. O tubo flexível pode ter um diâmetro interno de, tipicamente, até cerca de 0,6 metros. O tubo flexível é, em geral, formado como um conjunto de um corpo de tubo flexível e um ou mais conectores terminais. O corpo de tubo flexível é tipicamente formado como uma combinação de materiais em camadas que formam um conduíte contendo pressão. A estrutura de tubo permite grandes desvios sem causar tensões de flexão que comprometem a funcionalidade do tubo flexível durante sua vida útil. O corpo de tubo é,

em geral, construído como uma estrutura combinada que inclui camadas de metal e polímero.

[0003] Em muitas concepções conhecidas de tubo flexível, o corpo de tubo inclui uma ou mais camadas de blindagem de pressão. A carga primária em tais camadas é formada a partir de forças radiais. As camadas de blindagem de pressão têm, muitas vezes, um perfil de seção transversal específico para conexão, de modo a serem capazes de conter e absorver as forças radiais resultantes de uma pressão externa ou interna sobre o tubo. Os perfis de seção transversal dos cabos enrolados que evitam, assim, que o tubo entre em colapso ou arrebente como um resultado da pressão são, algumas vezes, denominados perfis resistentes à pressão. Quando as camadas de blindagem de pressão são formadas a partir de cabos enrolados de maneira helicoidal que formam componentes de argola, as forças radiais provenientes de pressão externa ou interna sobre o tubo fazem com que os componentes de argola se expandam ou contraíam, colocando uma carga de tensão sobre os cabos.

[0004] Em muitas concepções conhecidas de tubo flexível, o corpo de tubo inclui uma ou mais camadas de blindagem de tração. A carga primária sobre tal camada de blindagem de tração é a tensão. Em aplicações de alta pressão, tal como em ambientes de água profundas e

ultraprofundas, a camada de blindagem de tração sofre cargas de tensão elevadas provenientes de uma combinação da carga da tampa terminal de pressão interna e o peso autossustentado do tubo flexível. Isto pode causar falha no tubo flexível, uma vez que tais condições são experimentadas ao longo de períodos de tempo prolongados.

[0005] Tubo flexível não aderente tem sido usado para projetos em águas profundas (menos de 3.300 pés (1005.84 metros)) e águas ultra profundas (mais de 3.300 pés). É o aumento da demanda por petróleo que está fazendo com que a exploração ocorra em profundidades cada vez maiores, onde os fatores ambientais são mais extremos. Por exemplo, em tais ambientes de águas profundas e ultra profundas, a temperatura no fundo do oceano aumenta o risco de resfriamento dos fluidos de produção para uma temperatura que pode levar a bloqueio do tubo. O aumento das profundidades também aumenta a pressão associada ao ambiente no qual o tubo flexível deve operar. Como um resultado, a necessidade de altos níveis de desempenho das camadas do corpo de tubo flexível é aumentada. Um tubo flexível também pode ser usado para aplicações em águas rasas (por exemplo, menos de cerca de 500 metros de profundidade) ou mesmo para aplicações na costa (terrestres).

[0006] Uma forma de melhorar a resposta à carga e, conseqüentemente, o desempenho das camadas de blindagem é fabricar as camadas a partir de materiais mais espessos e mais fortes e, assim, mais robustos. Por exemplo, para camadas de blindagem de pressão nas quais as camadas são, muitas vezes, formadas a partir de cabos enrolados com enrolamentos adjacentes na camada de conexão, a fabricação de cabos a partir de materiais mais espessos resulta no aumento de resistência apropriadamente. No entanto, à medida que mais material é usado, o peso dos tubos flexíveis aumenta. Em última análise, o peso do tubo flexível pode se tornar um fator limitante no uso do tubo flexível. Além disso, a fabricação de tubos flexíveis usando um material mais espesso aumenta apreciavelmente os custos com material, o que é uma desvantagem.

[0007] Independentemente das medidas tomadas para melhorar o desempenho das camadas de blindagem dentro de um corpo de tubo, continua a haver um risco de defeitos que surgem dentro de um tubo flexível. Um defeito pode compreender danos a uma parede externa de um corpo de tubo flexível, resultando na entrada de água do mar em um espaço anular dentro do corpo de tubo, de modo que a água do mar preencha os espaços vazios entre os cabos da camada de blindagem e outros elementos estruturais do tubo. Os cabos

da camada de blindagem e outros elementos estruturais são, tipicamente, fabricados a partir de aço ou outro material metálico, que são vulneráveis à corrosão acelerada mediante contato com a água do mar. Se tal defeito não for detectado imediatamente, então a integridade estrutural do corpo de tubo pode estar comprometida. A detecção de defeitos previamente requeria, frequentemente, uma inspeção visual do corpo de tubo, que pode ser perigosa, principalmente em instalações em águas profundas e águas ultra profundas.

[0008] Determinadas concretizações da invenção fornecem a vantagem de que um defeito potencial dentro de um corpo de tubo possa ser detectado sem a necessidade de uma inspeção visual periódica. Se um defeito estiver presente, então, o corpo de tubo pode ser reparado ou substituído. Defeitos perceptíveis incluem uma perda de integridade da parede externa de um tubo flexível e a entrada de água do mar em um espaço anular do corpo de tubo.

[0009] De acordo com um primeiro aspecto da presente invenção, é fornecido um equipamento de duto que compreende: um corpo de tubo flexível incluindo uma fibra óptica que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo flexível, a fibra óptica estando envolvida por um tubo de metal; e um equipamento de detecção, o equipamento de detecção compreendendo: um sensor óptico acoplado a uma

primeira extremidade da fibra óptica, o sensor óptico estando posicionado para injetar pulsos ópticos na fibra óptica e detectar a luz dispersa ou refletida; e um sensor elétrico acoplado a uma primeira extremidade do tubo de metal para detectar uma variação de impedância elétrica entre a primeira extremidade do tubo de metal e um terminal separado; em que a variação de luz dispersa ou refletida, ou variação de impedância, é indicativa de um defeito potencial no corpo de tubo.

[0010] De acordo com um segundo aspecto da presente invenção, é fornecido um método de detecção de defeitos no interior de um corpo de tubo flexível, o método compreendendo: injeção de pulsos ópticos em uma primeira extremidade de uma fibra óptica que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um corpo de tubo flexível, a fibra óptica estando envolvida por um tubo de metal; detecção de luz dispersa ou refletida; detecção de uma variação de impedância elétrica entre a primeira extremidade do tubo de metal e um terminal separado; em que a variação de luz dispersa ou refletida, ou variação de impedância, é indicativa de um defeito potencial no corpo de tubo.

[0011] De acordo com um terceiro aspecto da presente invenção, é fornecido um método de formação de um equipamento

de duto, o método compreendendo: fornecimento de um corpo de tubo flexível incluindo uma fibra óptica que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um corpo de tubo flexível, a fibra óptica estando envolvida por um tubo de metal; e acoplamento de um sensor óptico a uma primeira extremidade da fibra óptica; e acoplamento de um sensor elétrico a uma primeira extremidade do tubo de metal; em que o sensor óptico está posicionado de modo a injetar pulsos ópticos na fibra óptica e detectar a luz dispersa ou refletida, e o sensor elétrico está posicionado para detectar uma variação de impedância elétrica entre a primeira extremidade do tubo de metal e um terminal separado; e em que a variação de luz dispersa ou refletida, ou variação de impedância, é indicativa de um defeito potencial no corpo de tubo.

[0012] É ainda descrito um equipamento de detecção posicionado para detectar defeitos dentro de um corpo de tubo flexível, o equipamento de detecção compreendendo: um sensor óptico posicionado para acoplar a uma primeira extremidade de uma fibra óptica que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um corpo de tubo flexível, a fibra óptica estando envolvida por um tubo de metal, o sensor óptico estando posicionado para injetar pulsos ópticos na fibra óptica e detectar a luz dispersa ou

refletida; e um sensor elétrico posicionado para acoplar a uma primeira extremidade do tubo de metal para detectar uma variação de impedância elétrica entre a primeira extremidade do tubo de metal e um terminal separado; em que a variação de luz dispersa ou refletida, ou variação de impedância, é indicativa de um defeito potencial no corpo de tubo.

[0013] A variação de luz dispersa ou refletida pode ser indicativa de uma variação de temperatura ao longo de pelo menos parte do comprimento da fibra óptica.

[0014] O equipamento de detecção pode compreender ainda um primeiro processador acoplado ao sensor óptico e posicionado de modo a processar a luz dispersa ou refletida para calcular um perfil de temperatura ao longo do comprimento da fibra óptica.

[0015] O primeiro processador pode estar posicionado para determinar a localização de uma variação de temperatura ao longo do comprimento da fibra óptica.

[0016] A variação de impedância pode ser indicativa de uma falha de aterramento ao longo do tubo de metal.

[0017] É ainda descrito um equipamento de duto que compreende: um corpo de tubo flexível incluindo uma fibra óptica que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo flexível, a fibra óptica estando envolvida por um tubo de metal; um conector terminal acoplado

a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo; e um equipamento de detecção conforme descrito acima acoplado ao conector terminal; em que o sensor óptico está acoplado a uma primeira extremidade da fibra óptica e o sensor elétrico está acoplado a uma primeira extremidade do tubo de metal.

[0018] O tubo de metal pode estar posicionado dentro de um espaço anular do corpo de tubo flexível entre uma camada de barreira mais interna e uma camada de barreira mais externa.

[0019] O tubo de metal pode ser eletricamente isolado de componentes estruturais do corpo de tubo de metal dentro do espaço anular e o conector terminal é construído de modo que o tubo de metal possa passar através do conector terminal, permanecendo eletricamente isolado.

[0020] O conector terminal ou uma porção dos componentes estruturais do corpo de tubo metálico pode compreender o terminal separado acoplado ao medidor elétrico.

[0021] O tubo de metal pode ser recebido dentro de um equipamento de bainha que se estende ao longo de pelo menos parte do corpo de tubo flexível para isolar eletricamente o tubo de metal, a bainha compreendendo uma porção de corpo alongado que compreende uma superfície externa e um canal para receber o tubo de metal, e que compreende ainda pelo

menos uma abertura que conecta o canal e a superfície externa.

[0022] O equipamento de duto pode compreender dois ou mais corpos de tubo flexível, cada um tendo uma fibra óptica envolvida por um tubo de metal que se estende pelo menos parcialmente ao longo de seu comprimento; em que o equipamento de duto pode compreender ainda um multiplexador óptico e o sensor óptico está acoplado a cada fibra óptica através do multiplexador, de modo que o multiplexador óptico está posicionado para detectar luz dispersa ou refletida dentro de uma única fibra óptica de cada vez; e em que o sensor elétrico pode estar posicionado para acoplar a uma primeira extremidade de cada tubo de metal de cada vez para detectar uma variação de impedância elétrica entre uma primeira extremidade do tubo de metal e um terminal separado, ou o equipamento de duto ainda compreende dois ou mais medidores elétricos posicionados para acoplar a uma primeira extremidade de um respectivo tubo de metal para detectar uma variação de impedância elétrica entre a primeira extremidade do respectivo tubo de metal e um terminal separado.

[0023] É ainda descrito um método de detecção de defeitos no interior de um corpo de tubo flexível, o método compreendendo: injeção de pulsos ópticos em uma primeira extremidade de uma fibra óptica que se estende pelo menos

parcialmente ao longo do comprimento de um corpo de tubo flexível, a fibra óptica estando envolvida por um tubo de metal; detecção de luz dispersa ou refletida; detecção de uma variação de impedância elétrica entre a primeira extremidade do tubo de metal e um terminal separado; em que a variação de luz dispersa ou refletida, ou variação de impedância, é indicativa de um defeito potencial no corpo de tubo.

[0024] É ainda descrito um método de formação de um equipamento de duto, o método compreendendo: fornecimento de um corpo de tubo flexível incluindo uma fibra óptica que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um corpo de tubo flexível, a fibra óptica estando envolvida por um tubo de metal; acoplamento de um conector terminal a pelo menos uma extremidade do corpo de tubo; e acoplamento de um equipamento de detecção conforme descrito acima ao conector terminal; em que o método compreende ainda: injeção de pulsos ópticos em uma primeira extremidade da fibra óptica usando o sensor óptico; detecção de luz dispersa ou refletida; e detecção de uma variação de impedância elétrica entre uma primeira extremidade do tubo de metal e um terminal separado usando o sensor elétrico; em que a variação de luz dispersa ou refletida, ou variação de impedância, é indicativa de um defeito potencial no corpo de tubo.

[0025] O tubo pode ser para uso na extração de petróleo e gás sob alta pressão.

[0026] Concretizações da invenção são ainda descritas a seguir com referência aos desenhos anexos, nos quais:

a Figura 1 ilustra um corpo de tubo flexível;

a Figura 2 ilustra um conjunto de riser que incorpora um corpo de tubo flexível;

a Figura 3 ilustra um equipamento de detecção de acordo com uma concretização da presente invenção acoplado a um corpo de tubo flexível que é finalizado com um conector terminal aprovado para atmosfera explosiva (ATEX);

a Figura 4 ilustra um conjunto de empanque que permite que uma Fibra em Tubo de Metal (FIMT) no interior do espaço anular de um corpo de tubo passe através de um conector terminal do corpo de tubo aprovado para ATEX, de modo que o tubo de metal permaneça eletricamente isolado de acordo com uma concretização da presente invenção;

a Figura 5 ilustra uma FIMT suportada por uma extrusão de polímero de acordo com uma concretização da presente invenção;

a Figura 6 ilustra um sistema para monitoramento de vários corpos de tubo flexível de acordo com uma concretização da presente invenção; e

a Figura 7 é um fluxograma que ilustra um método de detecção de um defeito potencial no corpo de tubo de acordo com uma concretização da presente invenção.

[0027] Nos desenhos, numerais de referência similares se referem a partes similares.

[0028] Ao longo da presente descrição, será feita referência a um tubo flexível. Deverá ser entendido que um tubo flexível é um conjunto de uma porção de um corpo de tubo flexível e um ou mais conectores terminais, em cada um dos quais uma respectiva extremidade do corpo de tubo é finalizada. A Figura 1 ilustra como o corpo de tubo 100 é formado, de acordo com uma concretização da presente invenção, a partir de uma combinação de materiais em camadas que formam um conduíte contendo pressão. Embora várias camadas particulares sejam ilustradas na Figura 1, deverá ser entendido que a presente invenção é amplamente aplicável a estruturas de corpo de tubo coaxiais que incluem duas ou mais camadas fabricadas a partir de uma variedade de possíveis materiais. Deverá ser ainda notado que as espessuras das camadas são mostradas apenas para fins ilustrativos.

[0029] Conforme ilustrado na Figura 1, um corpo de tubo inclui uma camada de carcaça mais interna opcional 101. A carcaça constitui uma construção interligada que pode ser

usada como a camada mais interna para evitar, parcial ou totalmente, o colapso de uma bainha de pressão interna 102 em virtude de descompressão do tubo, pressão externa, cargas de esmagamento mecânicas e pressão sobre a blindagem de tração. Será apreciado que determinadas concretizações da presente invenção são aplicáveis a operações de "furo liso" (isto é, sem uma carcaça), bem como aplicações de "furo áspero" (com uma carcaça).

[0030] A bainha de pressão interna 102 funciona como uma camada de retenção de fluidos e compreende uma camada polimérica que assegura a integridade do fluido interno. Deverá ser entendido que esta camada pode, em si, compreender uma série de subcamadas. Será apreciado que, quando a camada de carcaça opcional é usada, a bainha de pressão interna é, frequentemente, referida por aqueles versados na técnica como uma camada de barreira. Em operação sem tal carcaça (assim denominada operação de furo liso), a bainha de pressão interna pode ser referida como um forro.

[0031] Uma camada de blindagem de pressão opcional 103 é uma camada estrutural com um ângulo de posicionamento próximo de 90° que aumenta a resistência do tubo flexível a cargas de esmagamento mecânicas e pressão interna e externa. A camada também suporta estruturalmente a bainha de pressão

interna e consiste, tipicamente, em uma construção interligada.

[0032] O corpo de tubo flexível também inclui uma primeira camada de blindagem de tração opcional 105 e uma segunda camada de blindagem de tração opcional 106. Cada camada de blindagem de tração é uma camada estrutural com um ângulo de posicionamento tipicamente entre 10° e 55°. Cada camada é usada para sustentar cargas de tração e pressão internas. As camadas de blindagem de tração são, muitas vezes, contra-enroladas em pares.

[0033] O corpo de tubo flexível mostrado também inclui camadas de fita opcionais 104, que ajudam a conter as camadas subjacentes e, até certo ponto, evitar a abrasão entre as camadas adjacentes.

[0034] O corpo de tubo flexível também inclui, tipicamente, camadas de isolamento opcionais 107 e uma bainha externa 108, que compreende uma camada polimérica usada para proteger o tubo contra a penetração de água do mar e outros ambientes externos, corrosão, abrasão e danos mecânicos.

[0035] Cada tubo flexível compreende pelo menos uma porção, algumas vezes referida como um segmento ou seção de corpo de tubo flexível 100 junto com um conector terminal localizado em uma extremidade ou em ambas as extremidades do tubo flexível. Um conector terminal constitui um dispositivo

mecânico que faz a transição entre o corpo de tubo flexível e um conector. As diferentes camadas de tubos conforme mostrado, por exemplo, na Figura 1, são finalizadas no conector terminal, de modo a transferir a carga entre o tubo flexível e o conector.

[0036] A Figura 2 ilustra um conjunto de riser 200 adequado para o transporte de fluido de produção, tal como óleo e/ou gás e/ou água, de um local submarino 201 para uma instalação flutuante 202. Por exemplo, na Figura 2 o local submarino 201 inclui uma tubulação de fluxo submarino 205. A tubulação de fluxo flexível 205 compreende um tubo flexível que assenta, parcial ou totalmente, no fundo do mar 204 ou está enterrada abaixo do fundo do mar e é usada em uma aplicação estática. A instalação flutuante pode ser constituída por uma plataforma e/ou boia ou, conforme ilustrado na Figura 2, um navio. O conjunto de riser 200 é fornecido como um riser flexível, isto é, um tubo flexível 203 que conecta o navio à instalação no fundo do mar. O tubo flexível pode estar em segmentos de corpo de tubo flexível com acoplamento aos conectores terminais. A Figura 2 ilustra também como porções de tubo flexível podem ser usadas como uma tubulação de fluxo 205 ou ponte 206. Será apreciado que há diferentes tipos de riser, conforme é bem conhecido por aqueles versados na técnica. Concretizações da presente

invenção podem ser usadas com qualquer tipo de riser, tal como um livremente suspenso (riser ascendente, livre), um riser restrito até certo ponto (boias, correntes), um riser totalmente restrito ou envolvido por um tubo (tubos I ou J).

[0037] Há um desejo crescente de monitoramento contínuo de vários parâmetros de tubos flexíveis, tais como tensão, temperatura e acústica, para ajudar a detectar falhas estruturais no tubo. Tal falha estrutural poderia ser vazamento, ruptura de cabos, flexão excessiva no duto (isto é, flexão que supera a quantidade máxima permitida antes que dano ocorra) e interação entre o tubo e o ambiente externo, tal como colisões com outros objetos, por exemplo.

[0038] Uma forma que foi sugerida para monitoramento de parâmetros associados a tais estruturas é o uso de um sistema de fibra óptica. Como um método para monitorar tensão, temperatura e acústica no tubo flexível, fibras sem revestimento e/ou Fibra em Tubos de Metal (FIMT) dentro de um conduíte de proteção foram incorporadas ao longo do comprimento da estrutura de tubo e conectadas a um dispositivo de avaliação externo do tubo. A fibra é usada como uma fibra óptica para transmissão de luz e é, em geral, feita de vidro. As fibras ópticas podem ser usadas, por exemplo, como medidores de tensão, medidores de temperatura e indicadores de temperatura. Podem ser feitas medições de

temperatura ou tensão que sejam localizadas, distribuídas ou semidistribuídas, dependendo da maneira pela qual a fibra óptica é avaliada e as regiões/sensores estejam posicionados na fibra óptica. As fibras podem incluir Redes de Bragg, por meio das quais a difração de diferencial de luz que passa através da fibra é usada para medir o parâmetro necessário. As leituras resultantes podem ser analisadas para determinar as condições do tubo ao longo de um período de tempo e uma ação corretiva pode ser tomada em conformidade. O documento WO2009/068907 descreve uma forma pela qual uma fibra óptica pode ser enrolada em torno de um tubo flexível e certas medições tomadas a partir das quais os parâmetros associados ao tubo podem ser determinados.

[0039] A tensão pode ser monitorada através da inclusão de uma FIMT, que é unida ao conduíte. A temperatura pode ser monitorada através da inclusão de uma FIMT que não é unida ao interior do conduíte e, portanto, é capaz de medir a temperatura de forma independente da tensão. As fibras podem ser configuradas de uma maneira similar para monitorar as condições acústicas.

[0040] Conforme observado acima, defeitos em um corpo de tubo flexível podem comprometer a integridade estrutural do corpo de tubo. Em particular, uma perda de integridade ou ruptura de uma camada externa resistente à água do mar pode

permitir a entrada de água do mar no espaço anular do corpo de tubo entre uma camada de barreira mais interna e a camada externa resistente à água do mar. Alternativamente, uma perda de integridade de uma camada de barreira mais interna pode permitir que fluidos de produção entrem no espaço anular do corpo de tubo. Com referência à Figura 1, a camada externa resistente à água do mar pode compreender a bainha polimérica externa 108 e a camada de barreira mais interna pode compreender a bainha de pressão interna 102. O espaço anular do corpo de tubo é ocupado pelos componentes estruturais metálicos, tais como as camadas de blindagem de tração 105, 106 da Figura 1. Estes componentes são frequentemente formados de aço ou outros metais e são suscetíveis à corrosão rápida na presença de água do mar.

[0041] A entrada de fluidos, seja água do mar ou fluidos de produção, pode fazer com que a temperatura do espaço anular do corpo de tubo varie. É conhecido o monitoramento dos corpos de tubo flexível para detectar variações de temperatura que possam indicar um defeito que requer uma investigação mais aprofundada. Uma de tais abordagens conhecidas que usa um sistema de fibras ópticas do tipo descrito acima é denominada Detecção Distribuída de Temperatura (DTS). Vantajosamente, a DTS permite que variações de temperatura a sejam detectadas e localizadas ao

longo de um corpo de tubo flexível ao monitorar uma fibra óptica que se estende ao longo do corpo de tubo flexível. Em algumas formas de DTS, um perfil de temperatura absoluta pode ser estabelecido ao longo da fibra óptica (e, portanto, ao longo do corpo de tubo flexível), bem como a detecção de variações transitórias na temperatura. O uso de DTS é particularmente atraente para uso na indústria de petróleo e gás, uma vez que não requer o uso de equipamentos eletrônicos ou a passagem de sinais elétricos no interior do corpo de tubo flexível. Na verdade, o único equipamento eletrônico compreende a instrumentação de detecção acoplada a uma extremidade da fibra óptica e que pode ser posicionada em uma extremidade do corpo de tubo flexível fora do espaço anular do corpo de tubo.

[0042] A DTS funciona pela transmissão de pulsos de luz de curta duração ao longo da fibra óptica e monitorar o retorno da luz refletida. Os pulsos de luz interagem com a estrutura de cristal da fibra de vidro e o desvio de frequência da luz retrodispersa é dependente da temperatura do vidro. O tempo no qual cada porção da luz retornada chega em relação ao tempo dos pulsos transmitidos pode ser usado para determinar a localização ao longo da fibra a partir da qual a luz é dispersa. Pode ser estabelecido um perfil de temperatura ao longo do comprimento da fibra. Presume-se que

aqueles versados na técnica estarão familiarizados com os detalhes de DTS convencional.

[0043] Sistemas DTS para medição e monitoramento de perfis de temperatura ao longo de fibras ópticas estão comercialmente disponíveis e também usados na indústria de petróleo e gás. Tipicamente, um sistema DTS pode estar localizado para uma medição de temperatura em uma resolução espacial de 1 m e com uma precisão de 1°C. Um único sistema DTS pode monitorar uma fibra óptica que se estende ao longo de um duto para um máximo de 30 km. No entanto, uma desvantagem dos sistemas DTS atuais é que eles são caros e, em geral, podem controlar apenas uma única fibra óptica de cada vez. Um sistema DTS compreende um refletômetro óptico acoplado a uma fibra óptica, junto com o equipamento de fornecimento de energia e monitorizamento associado. Isto pode compreender Refletometria de Domínio de Tempo Óptica (OTDR) ou Reflectometria de Domínio de Frequência Óptica (OFDR).

[0044] É conhecido, para sistemas DTS, o fornecimento da fibra óptica como uma Fibra em Tubo de Metal (FIMT) para proteger a fibra óptica. A fibra óptica é encapsulada dentro de um tubo de metal selado que, vantajosamente, protege a fibra óptica contra danos físicos, alterações na pressão, danos em virtude de temperaturas muito elevadas e efeitos de

ambientes corrosivos, os quais podem ocorrer quando a DTS é usada para detectar alterações na temperatura dentro de um espaço anular do corpo de tubo flexível. Tipicamente, o tubo de metal é formado de aço inoxidável, com um diâmetro externo de menos de 7 mm e, adequadamente, com um diâmetro externo aproximadamente equivalente à espessura dos cabos na camada de corpo de tubo flexível na qual ele é montado. Adequadamente, o diâmetro externo do tubo de metal pode ser menor do que a espessura dos cabos na camada de corpo de tubo flexível na qual ele é montado, de modo que o tubo pode ser instalado em um dispositivo de bainha ou fita veículo. Múltiplas fibras ópticas podem ser fornecidas dentro de um único tubo de metal, o que pode ser desejável em determinadas situações de implantação embora, para DTS, frequentemente uma única fibra será suficiente. A fibra pode ser inserida no tubo de metal, por exemplo, ao bombear um líquido através do tubo para extrair a fibra. O espaço dentro do tubo de metal em torno da fibra pode ser enchido com um material de proteção, por exemplo, um gel, para proteger ainda mais a fibra, incluindo proteção contra efeitos de flexão, e para minimizar a transmissão de força para a fibra durante fabricação e implantação da FIMT. Além disso, o comprimento da fibra inserida no interior do tubo pode exceder o

comprimento do tubo para evitar danos durante expansão e contração térmicas do tubo de metal.

[0045] Embora a DTS seja uma tecnologia bem estabelecida que foi aceita pela indústria de petróleo e gás para detecção de defeitos no tubo através das variações associadas na temperatura, os custos com o equipamento de reflectometria óptica associado podem tornar economicamente inviável o uso da DTS para um grande número de corpos de tubo. Além disso, o fato de que determinados sistemas DTS podem detectar apenas alterações transitórias na temperatura é indesejável porque, se a variação de temperatura inicial no começo de perda de integridade de um tubo é perdida, o sistema DTS pode subsequentemente não fornecer qualquer indicação de perda de integridade em curso.

[0046] Serão agora descritas concretizações da presente invenção que podem detectar uma ruptura de uma camada resistente externa ou interna de um corpo de tubo flexível. A Figura 3 ilustra um dispositivo de detecção 300 de acordo com uma primeira concretização da presente invenção acoplado a um corpo de tubo flexível 302, o qual pode ser do tipo mostrado na Figura 1. O dispositivo de detecção 300 está posicionado de modo a detectar uma alteração no corpo de tubo flexível 302 que pode indicar um defeito (e, em particular, uma perda de integridade que permite que a água

do mar ou outros fluidos entrem no espaço anular do corpo de tubo). O dispositivo de detecção 300 pode ser acoplado a um sistema de alerta posicionado para fornecer um sinal de saída para um operador do tubo flexível que alerta o operador quanto ao dano potencial para o tubo. O sinal de saída pode, por exemplo, ser um alarme visual ou sonoro.

[0047] O dispositivo de detecção 300 compreende um sensor óptico 304 posicionado para acoplar a uma primeira extremidade de uma fibra óptica 306 (indicado pela linha pontilhada) que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo flexível 302. O sensor óptico 304 pode compreender uma unidade de DTS do tipo descrito acima. O sensor óptico 304 pode compreender um refletomedidor óptico. A Figura 3 mostra o sensor óptico acoplado à fibra óptica 306 através de um multiplexador 305. O multiplexador 305 pode, alternativamente, ser considerado como parte do sensor óptico 304. O multiplexador permite que um único sensor óptico seja acoplado a várias fibras ópticas 306, conforme será descrito abaixo em relação à Figura 6.

[0048] A fibra óptica 306 se estende através de pelo menos parte do corpo de tubo flexível 302 dentro do qual se deseja detectar defeitos potenciais do corpo de tubo. A fibra óptica 306 é revestida por um tubo de metal 308 de modo a formar uma Fibra em Tubo de Metal (FIMT) do tipo discutido

acima para os sistemas DTS convencionais. De preferência, o tubo de metal 308 se estende ao longo de todo o comprimento da fibra óptica 306, pelo menos ao longo daquela porção da fibra óptica 306 no interior do corpo de tubo flexível 302. O tubo de metal 308 é eletricamente isolado dos componentes estruturais de metal subjacentes no interior do espaço anular do corpo de tubo. Um mecanismo pelo qual o isolamento elétrico pode ser obtido é descrito a seguir em relação à Figura 5. A FIMT pode ser posicionada no interior do espaço anular do corpo de tubo (por exemplo, entre as camadas 101 e 10 mostradas na Figura 1). A Figura 3 mostra o corpo de tubo flexível 302 sendo terminado com um conector terminal 312. O conector terminal 312 pode ser um conector terminal aprovado para atmosfera explosiva (ATEX) o qual é eletricamente acoplado aos componentes estruturais de metal dentro do espaço anular do corpo de tubo e conecta esses componentes de aterramento. A FIMT passa através do conector terminal 312 através de um conjunto de empanque, conforme descrito abaixo em relação à Figura 4, de modo que o tubo de metal 308 permanece eletricamente isolado ao longo de toda sua extensão dentro do espaço anular do corpo de tubo.

[0049] O sensor óptico 304 está posicionado de modo a injetar pulsos ópticos na fibra óptica 306 e detectar a luz dispersa ou refletida. A Figura 3 mostra detalhes do sensor

óptico 304 de acordo com uma concretização que será familiar para aqueles versados na técnica. Especificamente, o sensor óptico 304 compreende um laser 316 posicionado para gerar pulsos de luz para injeção no interior da fibra óptica 306. Os pulsos de luz passam através de um espelho parcialmente refletivo 318 e, através do multiplexador 305, para atingir a fibra óptica 306. A luz dispersa ou refletida retornada passa através do multiplexador 305 antes de ser desviada do percurso de luz original pelo espelho parcialmente refletivo 318. A luz retornada é, então, refletida por um segundo espelho 320 na direção de um analisador 322. O analisador 322 está posicionado de modo a comparar os pulsos de luz transmitidos e a luz retornada para fornecer um perfil de temperatura ao longo do comprimento da fibra óptica 306, conforme descrito acima em relação às técnicas de DTS convencionais. Um processador 324 está posicionado de modo a fornecer uma saída de alarme se for detectado que uma variação de temperatura está ocorrendo ao longo do comprimento da fibra óptica 306, a qual pode ser indicativa de uma variação de temperatura induzida por penetração de fluido no espaço anular do corpo de tubo.

[0050] O dispositivo de detecção 300 compreende ainda um sensor elétrico 314 posicionado para acoplar a uma primeira extremidade do tubo de metal 308. O sensor elétrico

314 está posicionado para detectar a variação de impedância elétrica entre a primeira extremidade do tubo de metal e um terminal separado. Adequadamente, o tubo de metal 308 é eletricamente isolado das estruturas de aço subjacente usando espaçadores ou a extrusão mostrada na Figura 5. Por exemplo, o tubo de metal 308 pode ser eletricamente isolado de outros componentes de metal dentro do espaço anular do corpo de tubo e, em particular, componentes estruturais de metal do tipo descrito acima em relação à Figura 1. O isolamento elétrico do tubo de metal 308 tem de ser mantido onde a FIMT passa através corpo do conector terminal 312, conforme será descrito abaixo em relação à Figura 4.

[0051] O sensor elétrico 314, na concretização da Figura 3, compreende um medidor de impedância 326 posicionado para medir a impedância entre o tubo de metal 308 e os componentes estruturais de metal do corpo de tubo 302. Adequadamente, o medidor de impedância 326 pode ser acoplado entre o tubo de metal 308 e o conector terminal 312, conforme mostrado. Conforme observado acima, o conector terminal 312 está acoplado eletricamente a componentes estruturais de metal no interior do corpo de tubo anel e, em determinadas concretizações, pode ser conectado a um aterramento. Na ausência de uma perda de integridade, a impedância medida pelo medidor de impedância 326 entre o tubo de metal 308 e

o conector terminal 312 é alta. Se uma perda de integridade permite a entrada de fluido no espaço anular do corpo de tubo, então, o fluido pode acoplar eletricamente o tubo de metal 308 aos componentes de metal, causando um curto-circuito. O medidor de impedância 326 mede, então, a queda na impedância. O sensor elétrico 314 compreende ainda um circuito de detecção de baixa impedância 328 que está acoplado ao medidor de impedância 326 e posicionado de modo a detectar uma queda na impedância medida e pode, por exemplo, estar posicionado de modo a detectar uma alteração na impedância maior do que um limiar predefinido. Em determinadas concretizações, se o circuito de detecção de baixa impedância 328 detecta uma queda na impedância, então, é enviado um sinal para o processador 324, o qual pode disparar uma saída de alarme. Em determinadas concretizações, discutidas em maiores detalhes abaixo em relação à Figura 6, se uma queda na impedância é detectada, então, um sinal pode ser enviado para o multiplexador 305 para acoplar o sensor óptico 304 a um tubo especial que mostra a queda na impedância. Isto permite que a presença de um defeito potencial no corpo de tubo indicado pela queda na impedância seja confirmada pelo sensor óptico.

[0052] Em outras concretizações, o terminal separado pode comprometer um terminal de água do mar, de modo que a

medição da impedância ocorra entre o tubo de metal 308 e a água do mar em torno de um conjunto de tubo flexível submarino. No caso de entrada de água do mar, a água do mar dentro do espaço anular do corpo de tubo pode acoplar eletricamente o tubo de metal ao eletrodo de água do mar.

[0053] Para o dispositivo de detecção 300 da Figura 3, a variação de luz dispersa ou refletida, ou variação de impedância, é indicativa de um defeito potencial no corpo de tubo. Em particular, se uma queda na impedância medida é detectada, isto é indicativo de um defeito potencial no corpo de tubo que pode causar a penetração de fluido dentro do espaço anular do corpo de tubo ao longo do comprimento da FIMT. O sensor óptico 304 pode ser capaz de determinar a localização de uma variação de temperatura (indicativa de um defeito potencial no corpo de tubo) ao longo do comprimento da fibra óptica.

[0054] Vantajosamente, o dispositivo de detecção 300, em combinação com a FIMT 306, 308, forma um sistema de sensor duplo para detectar defeitos potenciais no corpo de tubo para uma investigação mais aprofundada ao longo do comprimento de um corpo de tubo flexível. O fornecimento de um sistema de sensor duplo pode, assim, aumentar a confiabilidade de detecção de defeitos no tubo, uma vez que os mecanismos e equipamentos de detecção são independentes

uns dos outros e complementares. O sensor elétrico é capaz de fornecer uma indicação rápida de um evento de perda de integridade do tubo que permitiu que a água do mar entrasse no fluido de produção do espaço anular do corpo de tubo e, portanto, desencadeou um curto-circuito elétrico detectável pelo medidor elétrico 314. Esta indicação rápida de um evento de perda de integridade no tubo pode ser usada para desencadear uma inspeção precoce do tubo para determinar a localização de um defeito. Alternativamente, uma forma diferente de sensor elétrico pode ser fornecida, na qual o tubo de metal é um componente capaz de fornecer uma indicação independentemente da localização do defeito. Será apreciado que isto pode requerer o fornecimento de outros componentes elétricos que se estendam através do espaço anular do corpo de tubo e não é adicionalmente descrita aqui, exceto para citar que o tubo de metal 308 poderia, então, formar um componente de um circuito elétrico. Como uma outra alternativa, no caso onde o sistema elétrico detecta um evento de perda de integridade do tubo, o sensor óptico pode ser avaliado para determinar a localização da perda de integridade no tubo. Isto é, quando uma perda de integridade é detectada, o sensor pode dar prioridade à detecção de temperatura (se o sistema DTS está em uso na maior parte do tempo para detecção de outros parâmetros do corpo de tubo

flexível). Esta avaliação pode compreender o exame de um perfil de temperatura atual ao longo do comprimento da fibra óptica para determinar a localização de uma anomalia de temperatura. Alternativamente, a avaliação pode compreender o exame de medições anteriores para determinar a localização de um evento de variação transitória de temperatura indicativa de um defeito no corpo de tubo. Aqueles versados na técnica apreciarão que há uma ampla variedade de sistemas DTS comercialmente disponíveis e a forma de avaliação irá variar de acordo com o tipo de medições realizadas pelo sistema DTS.

[0055] Alternativa ou adicionalmente, o sensor óptico pode, independentemente, fornecer uma indicação de um evento de variação de temperatura que indica um evento de perda de integridade no tubo. Será apreciado que o sensor óptico também pode ser capaz de detectar outras formas de variações no corpo de tubo, tais como flexão ou esmagamento, as quais ainda não tenham resultado em uma perda de integridade detectável no tubo pelo sistema elétrico.

[0056] Em referência agora à Figura 4, esta ilustra um conjunto de empanque isolado 400, posicionado de modo a permitir que as FIMT 306, 308 passem através do corpo do conector terminal 312. A Figura 4 mostra uma camisa de conector terminal de corpo de tubo 402 e o corpo do conector

terminal 312, entre os quais os cabos da blindagem de tração (não ilustrados) são presos. A camisa do conector terminal 402 forma um anel anular, uma parte do qual é mostrada em seção transversal na Figura 4. Em uma extremidade principal de um conjunto de tubo flexível, um corpo de conector terminal 312 (mostrado parcialmente em seção transversal) está preso à camisa 402 através de uma pluralidade de parafusos 404 (mostrado em seção transversal). A camisa do conector terminal 402, em combinação com o corpo de conector terminal 312, está posicionada de modo a conectar eletricamente todos os componentes estruturais de metal dentro do corpo de tubo.

[0057] Conforme será ainda descrito abaixo, as FIMT 306, 308 são eletricamente isoladas no interior do espaço anular do corpo de tubo. Será apreciado que elas devem ser eletricamente isoladas à medida que passam através do corpo de conector terminal 312. A FIMT 306, 308 passa através de um furo 406 no interior do corpo de conector terminal 312. Em uma extremidade do furo 406, está posicionado um primeiro empanque 410, o qual é formado de um material eletricamente isolante e serve para espaçar a FIMT 306, 308 do corpo de conector terminal 312. Similarmente, na outra extremidade do furo 406, pode ser fornecido um segundo empanque (não mostrado), que é formado de um material eletricamente

isolante. O primeira empanque 410 compreende um conector submarino de alta pressão eletricamente isolado.

[0058] Em determinadas concretizações da invenção, o conjunto de empanque isolado poderia alojar um ou mais sensores ou cabos, além da FIMT 306, 308, para permitir o acesso ao espaço anular do corpo de tubo flexível.

[0059] Para isolar eletricamente a FIMT 306, 308 no interior do espaço anular do corpo de tubo, a FIMT pode se estender entre os cabos da blindagem de tração contíguos e ser isolada dos cabos adjacentes por meio de uma banda de material polimérico ou outra forma de separador elétrico. O isolamento das camadas de cabos de blindagem adjacentes pode ser fornecido por uma fita entre cada camada. Alternativamente, um dispositivo de bainha 500 pode ser fornecido, conforme mostrado na Figura 5.

[0060] A Figura 5 ilustra um dispositivo de bainha 500 para alojamento da FIMT 306, 308. O dispositivo de bainha 500 é um elemento alongado formado de um polímero moldado por injeção ou extrusado (por exemplo, HDPE) nesta concretização. Mais especificamente, a bainha 500 inclui uma porção de corpo 504 tendo uma superfície externa 506. A porção de corpo 504 é de seção transversal aproximadamente retangular, com algumas modificações particulares descritas a seguir, e tem uma seção transversal substancialmente

constante (isto é, um prisma). A porção de corpo pode ser formada a partir de um polímero ou material compósito.

[0061] O dispositivo de bainha 500 tem dimensões globais (comprimento, largura e profundidade) substancialmente similares ou iguais às dimensões totais de um cabo da blindagem de tração de um corpo de tubo flexível. Então, a bainha 500 que aloja o tubo ou cabo pode ser usada para substituir um cabo da blindagem de tração quando de formação de um corpo de tubo flexível. Alternativamente, o dispositivo de bainha pode ser introduzido em um espaço entre cabos de blindagem adjacentes de um corpo de tubo flexível.

[0062] A porção de corpo 504 inclui um canal 508 para receber a FIMT 306, 308 dentro da porção de corpo. O canal 508 se estende continuamente ao longo da porção de corpo e define uma superfície interna 510 da porção de corpo de seção transversal aproximadamente semicircular ou um pouco mais circular do que semicircular (isto é, entre circular e semicircular) para contatar a FIMT e manter a FIMT na posição. A FIMT e o dispositivo de bainha 500 podem ser fabricados juntos, como uma unidade, ou a bainha pode ser fabricada separadamente da FIMT e a FIMT inserida no canal 508.

[0063] O canal 508 não é completamente fechado pela porção de corpo 504. Em vez disso, nesta concretização, o

canal 508 está exposto através de uma abertura 312, que conecta o canal com a superfície externa 506. A abertura assegura que o fluido dentro do espaço anular do corpo de tubo entre em contato com o tubo de metal 308. A abertura também se estende continuamente ao longo do corpo alongado. A abertura 508 é de seção transversal aproximadamente triangular, com uma seção mais estreita próximo do canal, que se estende para se tornar mais larga próximo da superfície externa 506. Esta disposição pode ajudar a permitir que uma FIMT seja facilmente inserida no canal durante produção.

[0064] Ao fornecer o canal 508 e a abertura 512, a porção de corpo 504 tem, efetivamente, um formato de seção transversal que tem uma porção de base 314, primeiro e segundo ressaltos 516, 518 que se estendem a partir da porção de base 514 e uma porção central 520 da porção de base entre o primeiro e segundo ressaltos, onde a parte central se estende menos do que os ressaltos. Será apreciado que furos podem ser fornecidos dentro dos ressaltos 516, 518 de modo a receber mais cabos ou FIMTs para fins de monitoramento ou controle não relacionados à presente invenção.

[0065] O sistema de detecção 300 mostrado na Figura 3 se destina a monitorar um único conjunto de corpo de tubo flexível ou tubo para detectar um defeito potencial (caso no

qual o multiplexador 305 pode ser omitido). No caso onde é necessário controlar múltiplos conjuntos de tubos para detectar defeitos potenciais, de acordo com uma concretização da invenção, vários conjuntos de dispositivos de detecção podem ser fornecidos, com um alocado a cada conjunto de tubo. No entanto, os custos de um sensor óptico 304, por exemplo, uma unidade DTS, podem ser relativamente elevados, pelo menos em comparação com o sensor elétrico 314. Conseqüentemente, de acordo com outra concretização da invenção ilustrada na Figura 6, pode haver apenas um único sensor óptico 304 e um único sensor elétrico 314 que compreende um ou mais medidores de impedância 326 para monitorar uma pluralidade de corpos de tubo flexível 302 (quatro são mostrados na Figura 6). Uma FIMT 306, 308 separada é fornecida dentro do espaço anular de corpo de tubo de cada corpo de tubo 302, conforme descrito acima em relação à Figura 6.

[0066] Cada tubo de metal 308 está acoplado diretamente ao sensor elétrico 314. O sensor elétrico 314 pode compreender um medidor de impedância 326 separado posicionado de modo a monitorar uma variação de impedância entre cada tubo de metal 308 e um terminal separado ou pode haver um único medidor de impedância 326 posicionado para monitorar cada corpo de tubo por vez, em um sistema rotativo.

A impedância de cada corpo de tubo pode ser medida entre o respectivo tubo de metal 308 e um terminal separado em comum para cada corpo de tubo (por exemplo, a estrutura de metal do corpo de tubo) ou um terminal separado em comum pode ser fornecido para todos os corpos de tubo. Por outro lado, cada fibra óptica 306 está acoplada através de uma unidade de multiplexador 305 a um único sensor óptico 304 que é capaz de monitorar apenas uma única fibra óptica 306 em qualquer momento. O sensor elétrico 314 é posicionado para monitorar continuamente cada um dos corpos de tubo em um evento de perda de integridade. No caso de uma perda de integridade ser detectada, um sinal de controle é enviado para o sensor óptico 304 e o multiplexador 305 que instrui qual fibra óptica deverá ser monitorada para localizar a posição da perda de integridade, por exemplo, detecção de uma anomalia no perfil de temperatura ao longo desta fibra óptica. Na ausência de uma condição de perda de integridade, o sensor óptico 304 pode ser usado para desempenhar funções de monitoramento, por exemplo, a detecção de tensão ao longo das fibras ópticas a qual, por sua vez, pode, em si, fornecer uma indicação precoce de um possível evento de perda de integridade.

[0067] Vantajosamente, o sensor elétrico 314 não é sensível à temperatura. Isto significa que, se usado para

formar a determinação inicial quanto à existência ou não de uma perda de integridade, isto reduz o risco de detecção de falsos positivos de uma perda de integridade em relação ao uso do sensor óptico 304 quando usado em aplicações onde o diferencial de temperatura é baixo, por exemplo, para tubos de injeção de água, ou imprevisível em virtude de zonas de respingos ou maré. Adicionalmente, se o sensor óptico 304 é capaz de detectar apenas uma variação na temperatura e não mede um perfil de temperatura absoluta ao longo do comprimento da fibra óptica, então, se o evento de perda de integridade inicial é perdido pelo sensor óptico 304, uma vez que a temperatura no interior do espaço anular do corpo de tubo tenha estabilizado, já não é possível detectar que um evento de perda de integridade tenha ocorrido.

[0068] Em referência agora à Figura 7, esta ilustra, na forma de um fluxograma, um método de detecção de um defeito potencial no corpo de tubo usando o sistema da Figura 6. Na etapa S700, o sensor elétrico 314 monitora todos os corpos de tubo quanto a uma variação na impedância. O monitoramento pode ser contínuo se um medidor de impedância 326 separado é fornecido para cada corpo de tubo, ou descontínuo, no caso onde um único medidor de impedância 326 está conectado a cada corpo de tubo por vez. Na etapa S702, o circuito de detecção de baixa impedância 328 determina se

uma variação de impedância foi detectada por um dos corpos de tubo. Se não houver nenhuma variação de impedância, então, o processo retorna para a etapa S700. Se uma variação na impedância é detectada, então o processo passa para a etapa S704, ponto no qual o sensor óptico 304 está conectado ao tubo adequado ao controlar o multiplexador 305. O sensor óptico 304 é configurado para detectar a presença de uma variação de temperatura indicativa de um potencial defeito no corpo de tubo e, opcionalmente, determinar sua localização. Na etapa S706, o processador 324 determina se um defeito potencial no corpo de tubo foi determinado e, assim, se um alarme é emitido na etapa S708. Caso contrário, o processo retorna para a etapa S700.

[0069] Com a configuração descrita acima, defeitos, incluindo violações de uma camada externa resistente à água do mar de um corpo de tubo, podem ser detectados em tempo hábil, permitindo que ocorra uma inspeção mais aprofundada e, se necessário, manutenção.

[0070] Será evidente para aqueles versados na técnica que as características descritas em relação a qualquer uma das concretizações descritas acima podem ser aplicadas alternadamente entre as diferentes concretizações. As concretizações descritas acima são exemplos para ilustrar várias características da invenção.

[0071] Ao longo da descrição e das reivindicações do presente relatório descritivo, as palavras "compreende" e "contém" e variações das mesmas significam "incluindo, porém sem limitações" e elas não se destinam a excluir (e não excluem) outros componentes, inteiros ou etapas. Ao longo da descrição e reivindicações do presente relatório descritivo, o singular inclui o plural, a menos que o contexto exija o contrário. Em particular, quando o artigo indefinido é usado, o relatório descritivo deve ser entendido como considerando a pluralidade, bem como a singularidade, a menos que o contexto exija o contrário.

[0072] Características, números inteiros ou aspectos descritos em conjunto com um aspecto, concretização ou exemplo particular da invenção devem ser entendidos como aplicáveis a qualquer outro aspecto, concretização ou exemplo descrito aqui, a menos que incompatível com os mesmos. Todas as características descritas no presente relatório descritivo (incluindo quaisquer reivindicações, resumo e desenhos) e/ou todas as etapas de qualquer método ou processo assim descrito, podem ser combinadas em qualquer combinação, exceto combinações onde pelo menos algumas de tais características e/ou etapas são mutuamente exclusivas. A invenção não está restrita aos detalhes de quaisquer concretizações anteriores. A invenção se estende a qualquer

uma nova, ou qualquer combinação nova, das características descritas no presente relatório descritivo (incluindo quaisquer reivindicações, resumo e desenhos) ou a qualquer nova, ou qualquer combinação nova, das etapas de qualquer método ou processo assim descrito.

[0073] A atenção do leitor é dirigida para todos os artigos e documentos os quais são depositados juntamente com ou anteriores ao presente relatório descritivo junto com o presente Pedido e que estão abertos à inspeção pública com o presente relatório descritivo, e os conteúdos de todos de tais artigos e documentos são aqui incorporados por referência.

REIVINDICAÇÕES

1. Equipamento de duto **caracterizado por** compreender:

um corpo de tubo flexível (302) incluindo uma Fibra ótica em Tubo de Metal, FIMT (306,308) que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento do corpo de tubo flexível (302), posicionada no interior de um espaço anular do corpo de tubo flexível (302) entre uma camada de barreira mais interna (102) e uma camada de barreira mais externa (108); e

um equipamento de detecção (300) compreendendo:

um sensor ótico (304) acoplado a uma primeira extremidade da fibra ótica (306), o sensor ótico (304) estando posicionado para injetar pulsos óticos na fibra ótica (306) e detectar a luz dispersa ou refletida; e

um sensor elétrico (314) acoplado a uma primeira extremidade do tubo de metal FIMT (308) para detectar uma variação de impedância elétrica entre a primeira extremidade do tubo de metal FIMT (308) e um terminal separado;

em que a variação de impedância é indicativa de uma falha de aterramento ao longo do tubo de metal FIMT (308); e

em que a variação de luz dispersa ou refletida é indicativa de uma variação de temperatura ao longo de pelo menos parte do comprimento da fibra ótica (306).

2. Equipamento de duto, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender ainda um primeiro processador (324) acoplado ao sensor ótico (304) e posicionado de modo a processar a luz dispersa ou refletida para calcular um perfil de temperatura ao longo do comprimento da fibra ótica (306).

3. Equipamento de duto, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado por** o primeiro processador (324) estar posicionado para determinar a localização de uma variação de temperatura ao longo do comprimento da fibra ótica (306).

4. Equipamento de duto, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender ainda um conector terminal (312) acoplado a uma extremidade do corpo de tubo (302);

em que o tubo de metal FIMT (308) é eletricamente isolado de componentes estruturais metálicos do corpo de tubo dentro do espaço anular e o conector terminal (312) é construído de modo que o tubo de metal FIMT (308) possa passar através do conector terminal (312), enquanto permanece eletricamente isolado.

5. Equipamento de duto, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado por** o conector terminal (312) ou uma porção dos componentes estruturais metálicos do corpo de tubo compreenderem o terminal separado acoplado ao sensor elétrico (314).

6. Equipamento de duto, de acordo com a reivindicação 4 ou 5, **caracterizado por** o tubo de metal FIMT (308) ser recebido dentro de um equipamento de bainha (500) que se estende ao longo de pelo menos parte do corpo de tubo flexível (302) para isolar eletricamente o tubo de metal FIMT (308), a bainha (500) compreendendo uma porção de corpo alongado (504) que compreende uma superfície externa (506) e um canal (508) para receber o tubo de metal FIMT (308), e compreendendo ainda pelo menos uma abertura (512), que conecta o canal (508) e a superfície externa (506).

7. Equipamento de duto, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado por** compreender dois ou mais corpos de tubo flexível (302), cada um possuindo um FIMT ótico (306,308) que se estende pelo menos parcialmente ao longo de seu comprimento;

em que o equipamento de duto compreende ainda um multiplexador ótico (305) e o sensor ótico (304) está acoplado a cada fibra ótica (306) através do multiplexador (305), de modo que o multiplexador ótico (305) esteja posicionado para detectar a luz dispersa ou refletida dentro de uma única fibra ótica (306) de cada vez; e

em que o sensor elétrico (314) está posicionado para acoplar a uma primeira extremidade de cada tubo de metal FIMT (308) de cada vez para detectar variação de uma

impedância elétrica entre uma primeira extremidade do tubo de metal FIMT (308) e um terminal separado.

8. Equipamento de duto, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado por** compreender dois ou mais corpos de tubo flexível (302), cada um possuindo um FIMT ótico (306,308) que se estende pelo menos parcialmente ao longo do seu comprimento;

em que o equipamento de duto compreende ainda um multiplexador ótico (305) e o sensor ótico (304) está acoplado a cada fibra ótica (306) através do multiplexador (305), de modo que o multiplexador ótico (305) esteja posicionado para detectar a luz dispersa ou refletida dentro de uma única fibra ótica (306) de cada vez; e

em que o equipamento de duto compreende ainda dois ou mais medidores elétricos (314) posicionados para acoplar a uma primeira extremidade de um respectivo tubo de metal FIMT (308) para detectar variação de uma impedância elétrica entre a primeira extremidade do respectivo tubo de metal FIMT (308) e um terminal separado.

9. Método de detecção de defeitos no interior de um corpo de tubo flexível (302) através do equipamento de duto conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 8 **caracterizado por** compreender:

injetar pulsos ópticos em uma primeira extremidade de uma Fibra ótica em Tubo de Metal, FIMT (306,308) que se estende pelo menos parcialmente ao longo do comprimento de um corpo de tubo flexível (302) posicionada no interior de um espaço anular do corpo de tubo flexível (302) entre uma camada de barreira mais interna (102) e uma camada de barreira mais externa (108);

detectar luz dispersa ou refletida;

detectar variação de uma impedância elétrica entre a primeira extremidade do tubo de metal FIMT (308) e um terminal separado;

em que a variação de impedância é indicativa de uma falha de aterramento ao longo do tubo de metal FIMT (308);
e

em que a variação de luz dispersa ou refletida é indicativa de uma variação de temperatura ao longo de pelo menos parte do comprimento da fibra ótica (306).

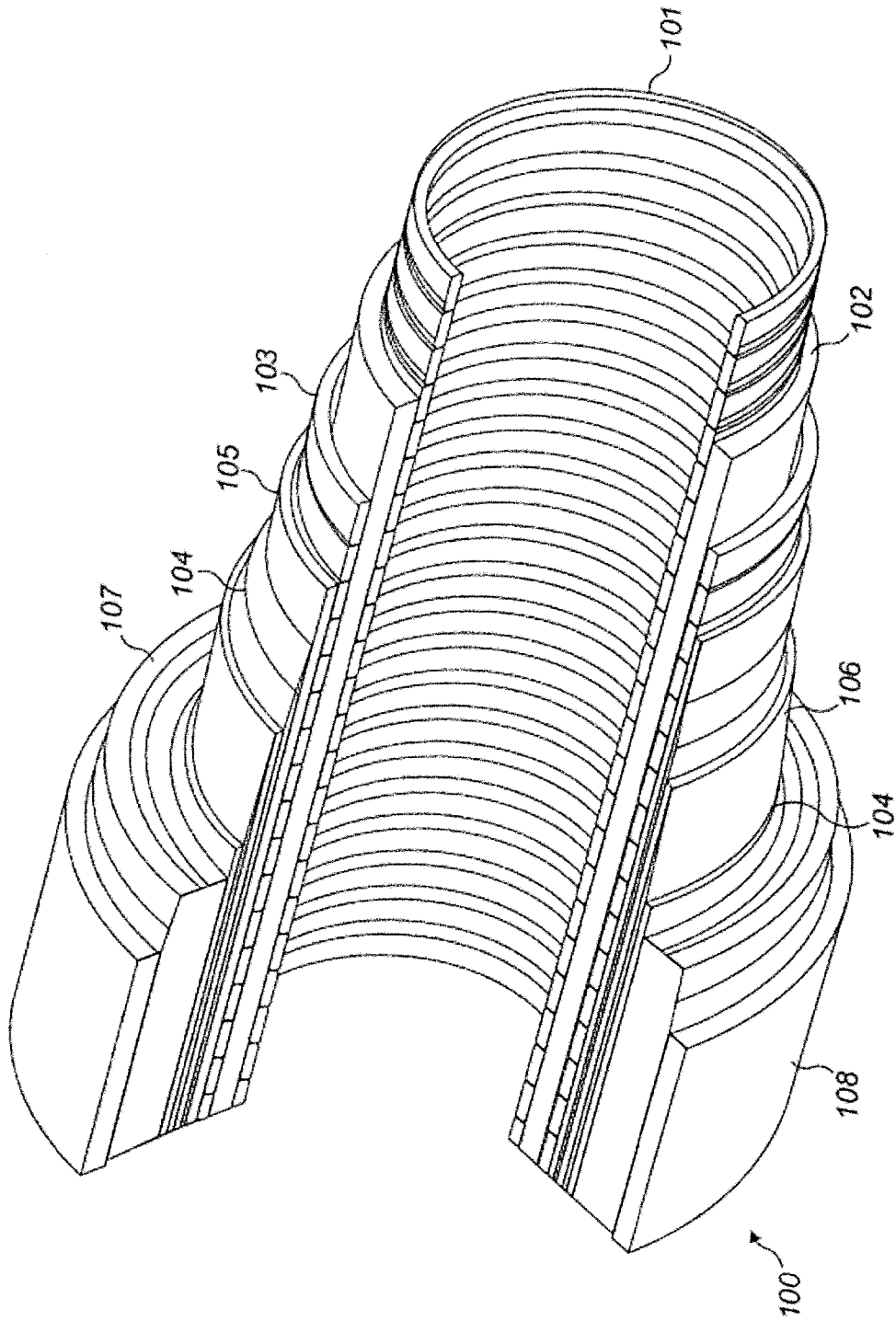


FIG. 1

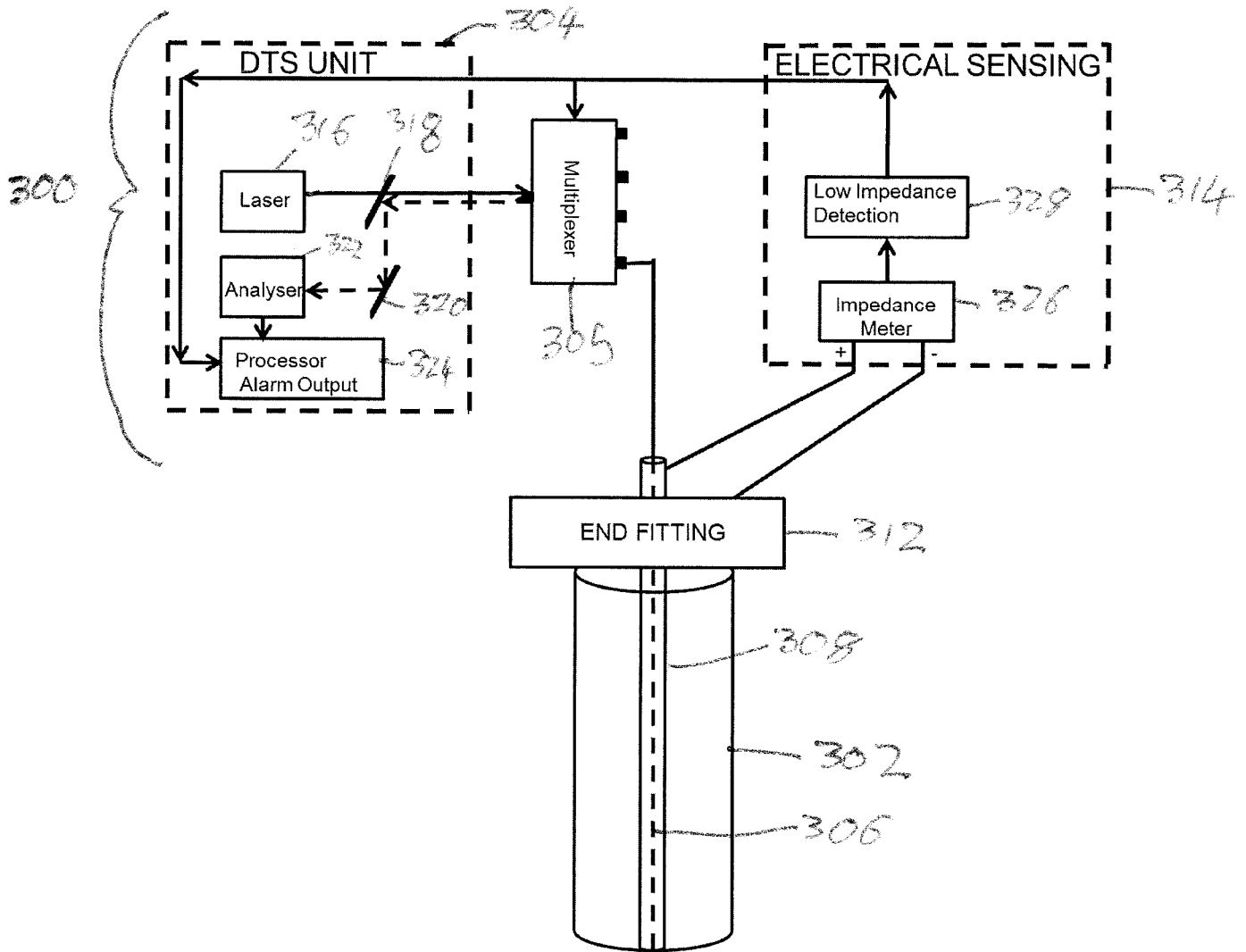


FIG. 3

Petição 870160016470, de 29/04/2016, pág. 161/220

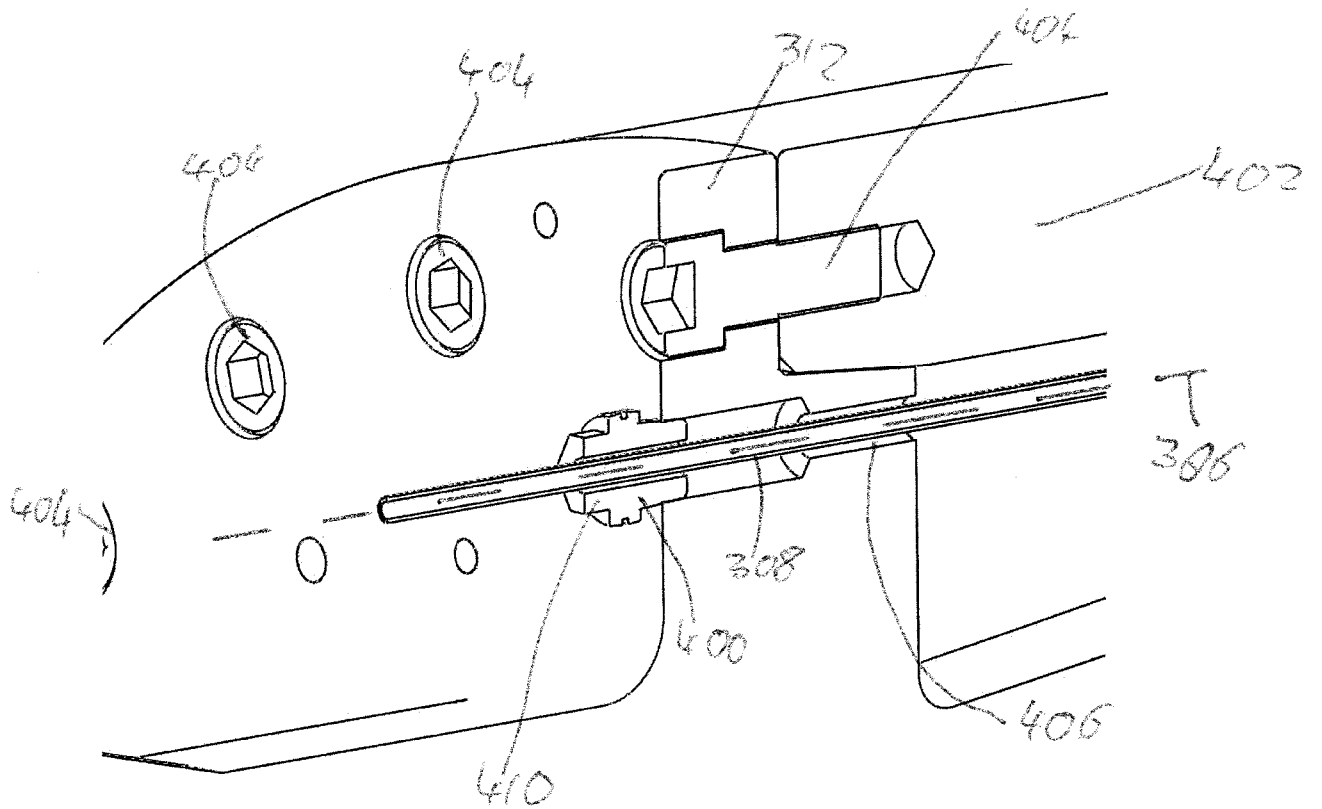


FIG. 4

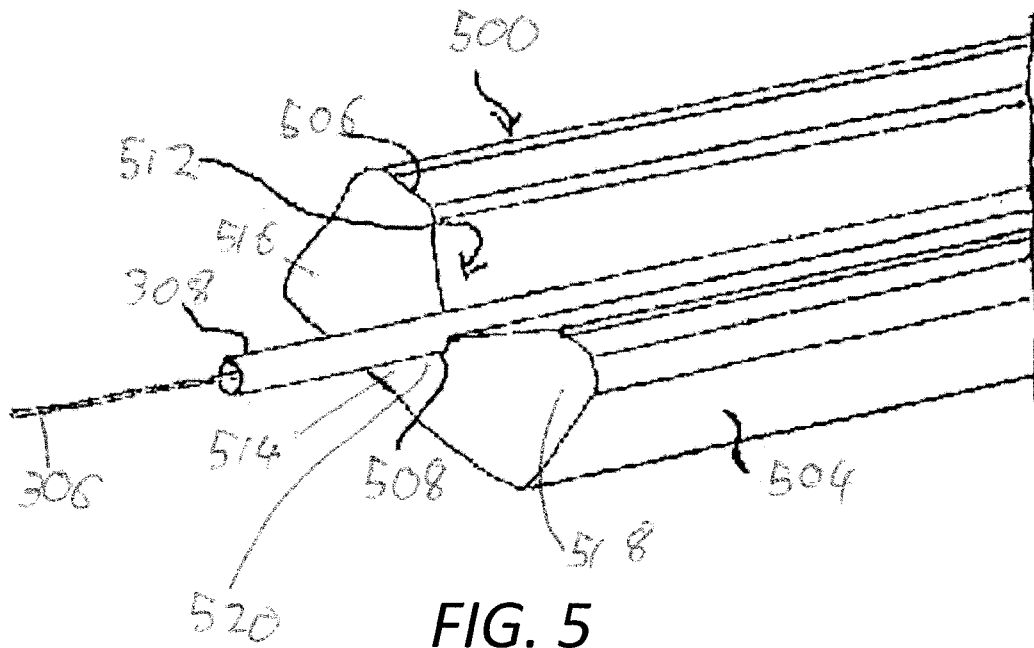


FIG. 5

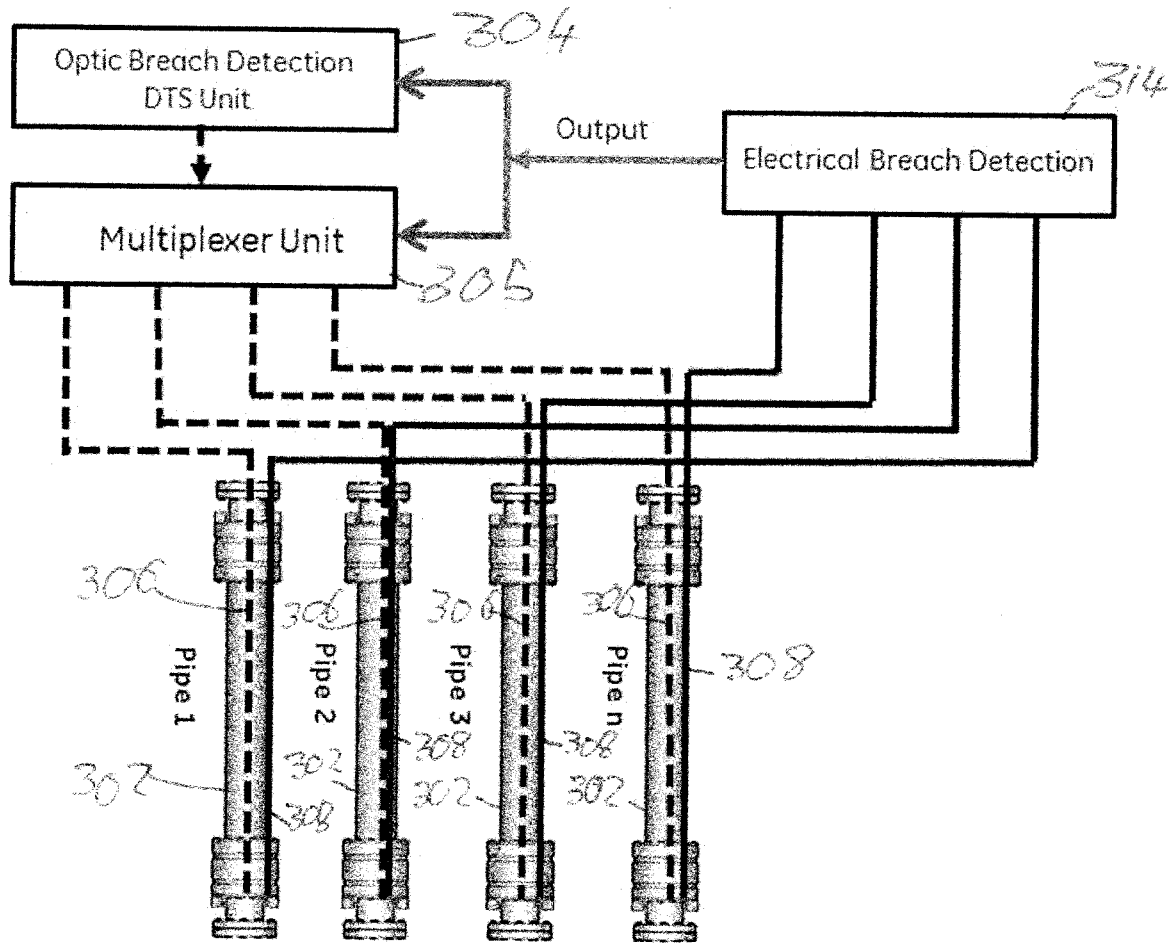


FIG. 6

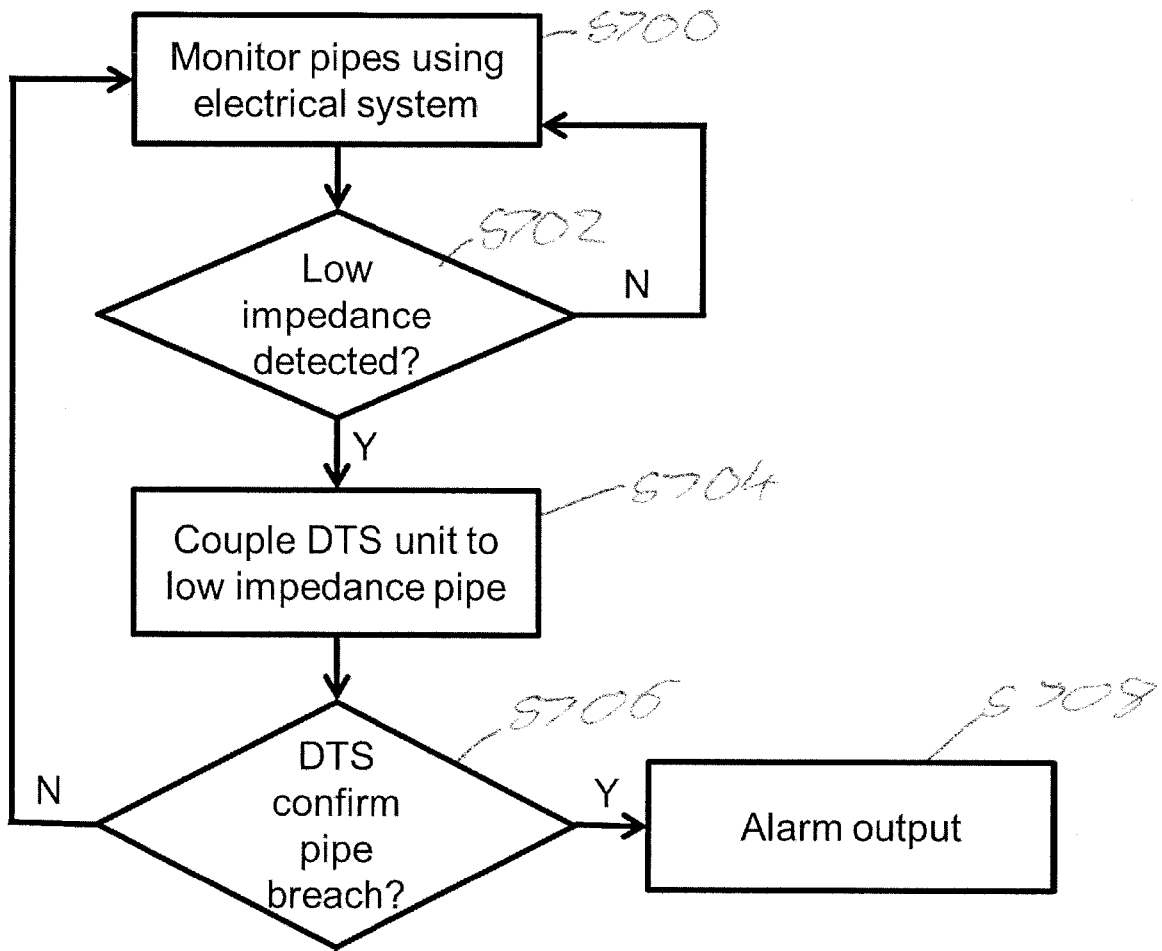


FIG. 7

8075