



**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**  
MINISTÉRIO DA ECONOMIA  
**INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL**

CARTA PATENTE Nº BR 102015019679-2

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

**(21) Número do Depósito:** BR 102015019679-2

**(22) Data do Depósito:** 17/08/2015

**(43) Data da Publicação Nacional:** 21/02/2017

**(51) Classificação Internacional:** G01K 11/32.

**(54) Título:** SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO PRÉ-COMPENSADO

**(73) Titular:** FUNDAÇÃO CPQD - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM TELECOMUNICAÇÕES. CGC/CPF: 02641663000110. Endereço: Rua Dr. Ricardo Benetton Martins, s/n, Parque II do Polo de Alta Tecnologia, Campinas, SP, BRASIL(BR), 13086-902

**(72) Inventor:** FABIO RENATO BASSAN; FELIPE CEZAR SALGADO; JOÃO BATISTA ROSOLEM.

**Prazo de Validade:** 20 (vinte) anos contados a partir de 17/08/2015, observadas as condições legais

**Expedida em:** 07/12/2021

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados



## **“SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO PRÉ-COMPENSADO”**

### **APRESENTAÇÃO E CAMPO DA INVENÇÃO**

[0001] Trata a presente invenção da descrição de um sistema de medição de temperatura distribuída em fibras ópticas com amplificação de sinal codificado pré-compensado.

[0002] As possibilidades de aplicações desta invenção são inúmeras, como em cabos de fibras ópticas integradas, ou não, a cabos metálicos de uso aéreo, terrestre e subterrâneo, em subestações e linhas de transmissão de energia elétrica, tubulações de gases ou combustíveis e refinarias. Por exemplo, no monitoramento de temperatura em linhas de transmissão de energia e na detecção de incêndios e vazamentos, em que a passividade da fibra óptica permite que este tipo de sensoriamento possa ser aplicado em ambientes explosivos, nucleares e com alta interferência eletromagnética, permitindo que a temperatura possa ser monitorada ao longo de dezenas de quilômetros utilizando-se apenas a fibra óptica como sensor.

### **CONVENCIMENTO TEÓRICO**

[0003] Sistemas Ópticos de Sensoriamento de Temperatura Distribuída (DTS) foram desenvolvidos na década de 80 para substituir os sistemas de medição de temperatura por termopares e termistores. A tecnologia DTS é baseada em Reflectometria Óptica no Domínio do Tempo (OTDR) e utiliza técnicas originalmente derivadas de testes de cabos de telecomunicações. Hoje os Sistemas Ópticos de Sensoriamento de Temperatura Distribuída (DTS) fornecem uma maneira eficaz na obtenção de medições de temperatura de alta precisão encontrando ampla aceitação na indústria para controle de processos que utiliza fibra óptica.

[0004] Sistemas Ópticos de Sensoriamento de Temperatura Distribuída (DTS) oferecem vantagens consideráveis por apresentarem isenção de interferência e faíscas elétricas, que podem provocar incêndios em redes em que são utilizadas. Este sistema de medição propicia um resultado eficiente em termos de custo na

obtenção de centenas ou milhares de medições de temperatura de alta precisão e resolução.

[0005]O princípio implícito nas medições baseadas em Sistemas Ópticos de Sensoriamento de Temperatura Distribuída (DTS) é a detecção do sinal retroespalhado por efeito Raman, o qual é utilizado neste invento, para obtenção das medidas de temperaturas distribuídas exploradas por meio de pulsos codificados (Simplex Code – SCODE) pré-compensados juntamente ao uso de amplificadores de fibra óptica dopada com érbio (EDFAs) com controle automático de ganho (AGC).

[0006]O aumento da capacidade do sistema de medição está relacionado ao aumento da razão sinal/ruído do sinal retroespalhado Raman, uma vez que este sinal possui baixa potência óptica e está imerso em ruído, assim com a utilização do sinal codificado pré-compensado e a utilização do amplificador a fibra dopado com érbio (EDFAs) com controle automático de ganho (AGC), consegue-se o aumento do nível de sinal retroespalhado sem incorrer em distorções, devido a transientes em baixas frequências permitindo a determinação da temperatura distribuída ao longo da fibra óptica com alta precisão e maior resolução.

### **DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA**

[0007]Quando há utilização de níveis de potência elevados na fibra óptica, pode-se gerar efeitos não lineares. Estes efeitos são assim chamados pois, na presença de altas potências ópticas, o meio material deixa de ter um comportamento linear, ou seja, um aumento de potência óptica injetada na fibra, não se traduz em um aumento proporcional de potência na saída da fibra.

[0008]Em geral, os efeitos não lineares podem se constituir em problemas como, degradação do sinal transmitido em sistemas de telecomunicações. Dependendo do efeito não linear em questão esta degradação do sinal pode ocorrer em decorrência da redução de potência, da introdução de ruído, da distorção temporal ou da interferência entre canais.

[0009]Por outro lado, alguns efeitos não lineares podem ser aproveitados para aplicações de sensoriamento óptico distribuído. Entre esses efeitos encontra-se o espalhamento Raman.

[0010]O espalhamento por efeito Raman ocorre em decorrência da interação entre a luz e vibrações moleculares da Sílica. Conforme Figura 1 neste efeito de espalhamento Raman ocorre uma conversão de parte da potência transmitida no comprimento de onda  $\lambda_0$  (2) para potências de luz chamadas de Stokes, que são geradas em comprimentos de ondas laterais superiores  $\lambda_S$  (4) e também para potências de luz chamadas de Anti-Stokes, que são geradas em comprimentos de ondas laterais inferiores  $\lambda_{AS}$  (6).

[0011]As potências ópticas geradas nos comprimentos de onda  $\lambda_S$  (4) e  $\lambda_{AS}$  (6) do espalhamento Raman tem dependência com a temperatura da fibra ao longo de sua extensão, sendo este efeito muito mais pronunciado para os comprimentos de onda  $\lambda_{AS}$  (6).

[0012]Assim a razão entre estes dois sinais é utilizada para a determinação da temperatura na fibra óptica em um ponto particular. O tempo que decorre entre o lançamento do pulso de laser inicial e a detecção do sinal retroespalhado indica a localização espacial do ponto de medição da temperatura no interior da fibra.

[0013]Desde o início da década de 80 ocorreram diversos pedidos de patentes descrevendo métodos e técnicas para medição de temperatura distribuída em fibra óptica, dentre elas destacam-se as seguintes:

[0014]O documento GB 2329960 intitulado "Distributed Sensing Systems" refere-se a um sistema para medição de temperatura e tensão mecânica em fibra óptica com base na técnica de Análise no Domínio do Tempo (OTDA) da difusão por efeito Brillouin, estimulado por meio de uma única fonte de laser. Onde a perda ou ganho do sinal de Brillouin é medida para a determinação da temperatura ou a tensão mecânica ao longo do comprimento da fibra.

[0015]Nesta anterioridade a técnica foi aplicada através do efeito Brillouin que no invento proposto foi substituída pela utilização de retroespalhamento por efeito Raman para medições de temperatura.

[0016]O documento US 5054935 intitulado "Temperature-measuring method and distributed optical fiber temperature sensor" refere-se a um sensor de fibra óptica de temperatura distribuída (DTS) e um método de medição da temperatura no qual a

influência da diferença de atenuação do sinal Stokes e Anti-Stokes é calculada e corrigida para efetuar a medição da temperatura distribuída na fibra óptica de longa distância.

[0017]Nesta anterioridade não é utilizado nenhum método para a amplificação do sinal óptico. No presente invento é proposta a utilização do sinal amplificado pré-codificado caracterizando maior precisão nas medidas obtidas.

[0018]O documento US 4823166 intitulado “Optical time-domain reflectometry” refere-se a um método de medição por reflectometria óptica no domínio do tempo e a detecção de parâmetros físicos ao longo de uma fibra óptica, caracterizada pelo sinal retroespalhado por efeito Raman produzido e captado na saída de um processador de sinais produzidos por uma única linha espectral pré-selecionada, com a introdução de um pulso de laser na fibra óptica e medido a partir da razão das amplitudes e o tempo de atraso dos sinais Stoke e Anti-Stokes.

[0019]Nesta anterioridade é utilizado um pulso de laser sem amplificação no domínio óptico, enquanto no invento proposto é utilizado um conjunto de pulsos ópticos amplificado e codificado e pré-compensado resultando em aumento no alcance de medição.

[0020]O documento PI 99004589 intitulado “Sensor de temperatura e deformação mecânica em fibra óptica via efeitos de espalhamento Brillouin e Raman estimulados” utiliza-se do espalhamento de Brillouin estimulado e do espalhamento Raman, para desenvolver um sensor distribuído capaz de determinar o perfil de temperatura e a deformação mecânica ao longo da fibra óptica sensora com uma técnica para estabilizar a diferença de frequência entre os dois campos ópticos.

[0021]Nesta anterioridade a utilização do efeito de Brillouin e o efeito Raman conjuntos como técnica para medições de temperatura e deformação mecânica na fibra diferencia-se do invento proposto que efetua somente a medição do parâmetro físico, temperatura. O invento proposto possui maior precisão em suas medidas, pois utiliza-se do sistema de codificação e amplificação do sinal para analisar apenas a temperatura, diminuindo os efeitos não-lineares gerados.

[0022]O documento US 2010/128756 intitulado “Dual source auto-correction in distributed temperature systems” propõe um método automático e contínuo para realização de medições de temperatura distribuída em fibras ópticas derivadas do sinal de retroespalhamento Raman utilizando duas fontes de luz com comprimentos de onda diferentes.

[0023]Nesta anterioridade o uso de duas fontes de luz de comprimentos de onda diferentes aumenta a possibilidade de interferências nas medidas através da sobreposição dos comprimentos de onda utilizados. No invento proposto é utilizada apenas uma fonte de luz, sanando esse problema.

[0024]O documento GB 2476897 intitulado “Corrected DTS measurements based on Raman-Stokes signals” refere-se a um dispositivo para a determinação de medidas de detecção de temperatura distribuída e formas de compensar perdas diferenciais entre os sinais Raman Stokes e Raman Anti-Stokes.

[0025]Nesta anterioridade é realizado um perfil de perdas e ganhos dos sinais Stokes e Anti-Stokes realizando ajustes desta variação no sinal de resposta da temperatura obtida. O invento proposto apresenta melhor amplificação no sinal de resposta, pois utiliza um sinal codificado e amplificado por um amplificador óptico de fibra dopado a érbio, dessa forma, o sinal de resposta possui maior precisão e menor ruído.

[0026]O documento US 2011/0044371 intitulado “Distributed Optical fiber sensor system” refere-se a um sistema de sensor óptico de temperatura distribuída, no qual o sinal retroespalhado gerado na fibra óptica de teste é filtrado para separar o sinal de retroespalhamento Raman do sinal de dispersão de Brillouin.

[0027]Nesta anterioridade uma mudança na temperatura e uma alteração no grau de deformação em relação ao diâmetro da fibra teste são medidos a partir dos dados digitais do sinal de dispersão de Brillouin, enquanto o invento proposto realiza as medições de temperatura a partir do retroespalhamento Raman gerado por um sinal da fonte de luz codificado e amplificado, de forma a obter uma resposta mais precisa pois o retroespalhamento Raman é insensível as deformações mecânicas da fibra óptica.

[0028]A técnica mais utilizada para avaliar a temperatura distribuída pelo efeito Raman é a de reflectometria óptica no domínio do tempo (OTDR). Na Figura 2 pode ser observado o funcionamento do OTDR (8) que é baseado na análise da parcela de luz retroespalhada. O OTDR (8) possui um gerador de pulsos (10) que modula um laser (12) com sinais pulsantes (14) e este laser (12) transmite para a fibra óptica (16) os pulsos temporais na forma de um sinal óptico (2), passando antes por um dispositivo circulador óptico (18). A medida que a luz se propaga através da fibra (16) e desde que com potência adequada uma parcela da mesma é retroespalhada (20) pelo efeito Raman. A luz propagante (2) e o sinal retroespalhado de luz (20), por exemplo, a portadora  $\lambda$ AS (6) (sinal retroespalhado Anti-Stokes) são atenuadas pela fibra óptica (16) na direção de propagação e de retorno. O retroespalhamento de luz (2) é captado pelo OTDR (8) passando inicialmente pelo circulador óptico (18), por um sistema de filtragem óptica (22), por um recptor óptico (24) e finalmente em uma placa de processamento de dados (26). Estes pulsos justapostos (28) com informações da temperatura distribuída ao longo da extensão da fibra podem ser visualizados, por exemplo, por uma tela de computador externo.

[0029]Considerando que a técnica mais utilizada para avaliar a temperatura distribuída pelo efeito Raman é a reflectometria óptica no domínio do tempo (OTDR) e apresenta limitação da faixa de operação do OTDR para a medição do sinal  $\lambda$ AS (6), por sua vez, restringe a aplicação dos sistemas de sensoriamento que requerem maiores alcances. Algumas propostas foram feitas para solucionar este problema, e dentre estas soluções está a aplicação de pulso codificado (30) conforme Figura 3 para melhoria da razão sinal/ruído, conforme as seguintes patentes:

[0030]O documento CN 101819073 intitulado "Distributed optical fiber Raman temperature sensor coding and decoding by adopting sequential pulse" refere-se a um sensor de temperatura distribuída de fibra óptica através do efeito Raman com codificação e decodificação de pulso sequencial.

[0031]Nesta anterioridade o sinal utilizado para realização das medidas de temperatura é codificado e decodificado, enquanto o invento proposto além de codificar o sinal também o amplifica melhorando a razão do sinal/ruído.

[0032]O documento CN 202757708U intitulado “Long-distance distributed optical fiber temperature sensor detecting device based on code division OTDR” refere-se a um dispositivo de sensor óptico de medições de temperatura distribuída com base na divisão de código da reflectometria óptica no domínio do tempo (OTDR) através de uma fonte de luz com entrada de um sinal com pulsos codificados.

[0033]Nesta anterioridade são utilizados apenas pulsos codificados para as medições de temperatura, no invento proposto o sinal é amplificado, codificado e pré-compensado para obter melhorias nas respostas da temperatura e aumentar o alcance das medidas.

[0034]O uso do espalhamento Raman do tipo estimulado, muito comum em amplificadores distribuídos para uso em telecomunicações, apresenta-se como uma possível solução para o sensoriamento distribuído de temperatura à longa distância. Entretanto, o uso deste sensor só é possível se estiver agregado a um amplificador óptico como o detalhado na seguinte patente:

[0035]O documento CN 201107131 intitulado “Ultra-remote distributed type optical fiber Raman photon temperature sensor integrating Raman amplifier” refere-se a um amplificador ultra-remoto de efeito Raman integrado a um sensor de temperatura distribuída de fibra óptica.

[0036]Nesta anterioridade o amplificador óptico é utilizado, pois no espalhamento Raman estimulado, a intensidade do sinal Anti-Stokes é fortemente reduzida à medida que o feixe de luz se propaga pela fibra. Mas o uso de soluções de amplificação do sinal, com este modelo de amplificador aumentam substancialmente o custo de sistemas de sensoriamento. No invento proposto o encarecimento do processo de amplificação é resolvido com a pré-compensação do sinal antes da amplificação.

[0037]O uso do amplificador a fibra dopada com érbio (Figura 4) ou EDFA (32) para uso na amplificação do sinal OTDR em sistemas de medição de temperatura distribuída tem como objetivo a redução do custo do sistema de sensoriamento, no entanto seu uso pode ser acompanhado da distorção dos sinais (34) do OTDR que



fazem uso de códigos do tipo S ou Simplex. Esta aplicação é proposta nas seguintes patentes:

[0038]O documento CN 103278260A intitulado “Gray code distributed type optical fiber temperature sensor, temperature measurement system and using method” refere-se a um sistema de sensoriamento de temperatura distribuída em fibra óptica utilizando o método código “gray” através de um dispositivo de laser semiconductor auxiliar onde uma fonte de luz principal e uma fonte de luz auxiliar são utilizadas.

[0039]Nesta anterioridade o amplificador óptico é utilizado juntamente com um sistema de duas fontes de luz. No invento proposto a distorção causada pelo processo de amplificação é resolvido com a pré-compensação do sinal antes da amplificação, podendo dessa forma também utilizar apenas uma fonte de luz.

[0040]O documento CN 202869695U intitulado “Distributive fiber optic temperature sensor and temperature measuring device” refere-se a um sensor de temperatura de fibra óptica e um dispositivo de medição de temperatura que utiliza um sinal modulado com base no código gray e o princípio do efeito Raman associado ao princípio de reflectometria óptica no domínio do tempo e um amplificador de fibra dopado a érbio.

[0041]Nesta anterioridade o sinal de laser pulsado utilizado é modulado de acordo com o código gray, sem pré-compensação e a supressão de transientes do EDFA não é realizada através do uso de multiplexadores ópticos. No invento proposto o sinal de laser pulsado é modulado de acordo com o código S, com pré-compensação e realizando a supressão de transientes do EDFA através do uso de multiplexadores ópticos.

[0042]As técnicas anteriores descrevem métodos e dispositivos para medições de temperatura distribuída utilizando-se fibra óptica como sensor que apresentam diversas funcionalidades, utilizações e avanços da técnica no decorrer do tempo porém nenhum destes dispositivos possuem a configuração do sistema proposto nesta patente que é a melhoria na relação sinal/ruído e consequentemente melhoria no sinal Anti-Stokes  $\lambda_{AS}$  (6) com a utilização de um sinal codificado pré-compensado associado ao uso de um amplificador a fibra dopado com érbio, que

também diminui os custos deste sistema, permitindo o aumento da precisão e melhoria da resolução das medições de temperatura distribuídas de fibras ópticas a longas distâncias.

### **OBJETIVOS DA INVENÇÃO**

[0043]O objetivo deste sistema de medição de temperatura distribuída (DTS) é aumentar a qualidade e a precisão do sinal de temperatura medido através da utilização de um sinal amplificado, codificado e pré-compensado associado a um amplificador óptico a fibra dopada com érbio com controle automático de ganho.

[0044]É também objetivo desta invenção transmitir um sinal óptico pulsado codificado para geração do efeito Raman em fibra óptica.

[0045]É também objetivo desta invenção amplificar um sinal óptico pulsado codificado para a geração do efeito Raman em fibra óptica através do uso de um EDFA.

[0046]É também objetivo desta invenção amplificar um sinal óptico pulsado codificado e previamente distorcido para a geração do efeito Raman em fibra óptica através do uso de um EDFA.

[0047]É também objetivo desta invenção amplificar um sinal óptico pulsado codificado para a geração do efeito Raman em fibra óptica através do uso de um EDFA usando controle automático de ganho (AGC).

[0048]É também objetivo desta invenção amplificar um sinal óptico pulsado codificado e previamente distorcido para geração do efeito Raman em uma fibra óptica através do uso de um EDFA usando controle automático de ganho (AGC).

[0049]É também objetivo desta invenção detectar as portadoras ópticas do sinal Raman retroespalhadas pela fibra e geradas pelo sinal óptico pulsado codificado e amplificado com controle automático de ganho (AGC).

[0050]É também objetivo desta invenção detectar as portadoras ópticas do sinal Raman retroespalhadas pela fibra e geradas pelo sinal óptico pulsado codificado, pré-distorcido e amplificado com controle automático de ganho (AGC)

[0051]É também objetivo desta invenção converter os sinais ópticos detectados em sinais elétricos, processar e correlacionar os dados dos sinais em informações de temperatura distribuída.

## **DESCRIÇÃO GERAL DA INVENÇÃO**

[0052]Os objetivos propostos são alcançados por meio da presente invenção, que através da geração de pulsos ópticos com código S transmitido por um laser semiconductor acoplado a uma fibra óptica num comprimento de onda  $\lambda_0$ , que é inserido num amplificador (EDFA) passando depois por um multiplexador óptico no qual uma parcela de ruído óptico do sinal é direcionado para um atenuador óptico, depois para outro multiplexador óptico, e retorna para o amplificador (EDFA) no qual este sinal será amplificado simultaneamente com o sinal codificado, reduzindo assim a deterioração do sinal resultando um sinal de saída adequado e com as características necessárias para a seleção apenas da parcela do sinal retroespalhado Anti-Stokes ( $\lambda_{AS}$ ), que passará por um circulador e por um filtro óptico e a seguir por um receptor óptico que transformará o sinal em elétrico, sendo enviado a um processador de sinais para o mapeamento da temperatura distribuída no interior da fibra.

## **DESCRIÇÃO DOS DESENHOS**

[0053]A invenção será melhor compreendida a partir da descrição detalhada que segue e das figuras que a ela se referem, em que:

A FIG. 1 ilustra a mostra uma concepção genérica da geração de frequências do efeito Raman.

A FIG. 2 ilustra uma concepção genérica de um sistema de medição da temperatura distribuída usando OTDR.

A FIG. 3 ilustra uma concepção genérica de um sistema de medição da temperatura distribuída usando OTDR com código de pulsos.

A FIG. 4 ilustra uma concepção genérica de um sistema de medição de temperatura distribuída usando OTDR, EDFA e código S com sequência de pulso deteriorada pelo EDFA.

A FIG. 5 ilustra a primeira concepção do Sistema de Medição de Temperatura Distribuída com Amplificação de Sinal Codificado Pré-Compensado.

A FIG. 6 ilustra a segunda concepção do Sistema de Medição de Temperatura Distribuída com Amplificação de Sinal Codificado Pré-Compensado.

A FIG. 7 ilustra a terceira concepção do Sistema de Medição de Temperatura Distribuída com Amplificação Codificado Pré-Compensado.

A FIG. 8 ilustra a forma de onda do sinal codificado pré-Compensado.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

[0054]A invenção propõe um sistema de medição para o sensoriamento da temperatura distribuída em fibra óptica, utilizando-se o sinal de retroespalhamento Raman obtido através da amplificação do sinal codificado e pré-compensado, realizada pela passagem do sinal por um amplificador a fibra dopada com érbio, que permite a diminuição do ruído óptico (interferências na medição do sinal Anti-Stokes) e o aumento da razão sinal/ruído, demonstrando maior potência no sinal resultante gerando um sinal retroespalhado Anti-Stokes com maior potência, levando a um mapeamento da temperatura distribuída em fibras ópticas de longa distância em tempo real mais preciso e com melhor resolução.

[0055]Conforme demonstrado na Figura 5, o Sistema para Medição de temperatura Distribuída com Amplificação de Sinal Codificado Pré-Compensado compreende: uma unidade geradora de sinal de pulsos ópticos (10) que tem a capacidade de geração de pulsos com código S (30), dito sinal que é transmitido por um laser semiconductor (12) acoplado a uma fibra óptica em comprimento de onda  $\lambda_0$  adequado, dito sinal que é inserido na entrada de um EDFA (32) passando antes pela porta correta de um multiplexador óptico (36A). Parte da composição de potência óptica espectral (38) do EDFA (32) composta de ruído óptico conhecido como Emissão Espontânea Amplificada (ASE) presente na saída do EDFA e em comprimento de onda distinto de  $\lambda_0$  é removida da saída por um segundo multiplexador óptico (36B) que é em seguida atenuada por um atenuador óptico (40) e acoplada a entrada do mesmo EDFA (32) através de uma das portas do

multiplexador óptico (36A). O sinal (38) irá ser amplificado pelo EDFA (32) simultaneamente com o sinal codificado (30) e através de um ajuste de atenuação provocada pelo atenuador óptico (40) a deterioração no sinal de saída (42) do EDFA (32) devido aos transientes do mesmo irá se reduzir drasticamente constituindo um sinal de saída amplificado com características corretas para processamento e análise da temperatura distribuída, dito sinal de saída (42) que após passar pela porta de saída do multiplexador (36B) é conectado a um circulador óptico (18) que conecta o dito sinal (42) em uma fibra óptica (16). O sinal (42) cria a potência retroespalhada Raman (20) que após passar pelo circulador óptico (18) é filtrada por um filtro óptico (22) onde, por exemplo, é possível obter-se somente a componente Raman  $\lambda_{AS}$ . Esta parcela filtrada da potência Raman segue para um receptor óptico (24) e em seguida o sinal resultante já transformado em sinal elétrico é entregue a uma placa processadora de sinais (26), dita placa que permitirá a devida remontagem temporal do sinal de temperatura distribuída.

[0056]Conforme demonstrado na Figura 6, é apresentado um outro arranjo utilizando-se o mesmo princípio do invento proposto e obtendo-se o mesmo objetivo final no processo. A segunda forma de realização do Sistema para medição de Temperatura Distribuída com Aplicação de Sinal Codificado Pré-Compensado compreende: uma unidade geradora de sinal de pulsos ópticos (10) que tem a capacidade de geração de pulsos com código S de maneira pré-compensada (44), dito sinal que é transmitido por laser semiconductor (12) acoplado a uma fibra óptica em comprimento de onda  $\lambda_0$  adequado, dito sinal que é inserido na entrada de um EDFA (32), devido a pré-compensação do sinal de entrada a deterioração no sinal de saída (42) do EDFA, devido aos transientes do EDFA (32), irá se reduzir constituindo um sinal de saída amplificado com características corretas para processamento e análise da temperatura distribuída, dito sinal de saída (42) é conectado a um circulador óptico (18) que conecta o dito sinal (42) em uma fibra óptica (16). O sinal (42) cria a potência retroespalhada Raman (20) de diversos pontos da fibra óptica (16), dita potência retroespalhada Raman (20) que após passar pelo circulador óptico (18) é filtrada por um filtro óptico (22) onde, por

exemplo, é possível obter-se somente a componente Raman  $\lambda_{AS}$ . Esta parcela filtrada da potência Raman segue para um receptor óptico (24) e em seguida o sinal resultante já transformado em sinal elétrico é entregue a uma placa processadora de sinais (26), dita placa que permitirá a devida remontagem temporal do sinal de temperatura distribuída.

[0057] Conforme demonstrado na Figura 7, é apresentado um outro arranjo utilizando-se os mesmos princípios dos inventos propostos e obtendo-se o mesmo objetivo final no processo. A terceira forma de realização do Sistema para medição de Temperatura Distribuída com Aplicação de Sinal Codificado Pré-Compensado compreende: uma unidade geradora de sinal de pulsos ópticos (10) que tem a capacidade de geração de pulsos com código S de maneira pré-compensada (44), dito sinal que é transmitido por um laser semiconductor (12) acoplado a uma fibra óptica em comprimento de onda  $\lambda_0$  adequado, dito sinal que é inserido na entrada de um EDFA (32) passando antes pela porta correta de um dispositivo multiplexador óptico (36A). Parte da composição de potência óptica espectral (38) do EDFA (32) composta de ruído óptico conhecido como Emissão Espontânea Amplificada (ASE) presente na saída do EDFA e em comprimento de onda distinto de  $\lambda_0$  é removida da saída por um segundo multiplexador óptico (36B), em seguida atenuada por um atenuador óptico (40) e acoplada a entrada do mesmo EDFA (30) através de uma das portas do multiplexador óptico (36A). O sinal (38) irá ser amplificado pelo EDFA (32) simultaneamente com o sinal codificado pré-compensado (44) e através de um ajuste de atenuação provocada pelo atenuador óptico (40) a deterioração do sinal na saída (42) do EDFA devido aos transientes do EDFA (32) irá se reduzir drasticamente constituindo um sinal de saída amplificado com características corretas para processamento e análise da temperatura distribuída, dito sinal de saída (42) que após passar pela porta de saída do multiplexador (36B) é conectado a um circulador óptico (18) que conecta o dito sinal (42) em uma fibra óptica (16). O sinal (44) cria a potência retroespalhada Raman (20) de diversos pontos da fibra óptica (16), dita potência retroespalhada Raman que após passar pelo circulador óptico (18) é filtrada por um filtro óptico (22) onde, por exemplo, é possível obter-se

somente a componente Raman  $\lambda$ AS. Esta parcela filtrada da potência Raman segue para um receptor óptico (24) e em seguida o sinal resultante já transformado em sinal elétrico é entregue a uma placa processadora de sinais (26), dita placa que permitirá a devida remontagem temporal do sinal de temperatura distribuída.

[0058]Conforme Figura 8 a forma do Sinal Codificado Pré-Compensado (44) consiste, por exemplo, em uma forma de onda com pulsos (46) de largura temporal fixa (48), com amplitude inicial  $A_0$  (52) e final  $A_f$  (54), crescente linearmente com o tempo (50), com quantidade de bits do Sinal Codificado Pré-Compensado (44) dependente do comprimento do código S adotado e com taxa de repetição dependente do comprimento da fibra óptica (16).

[0059]Conforme Figura 8 a forma do Sinal Codificado Pré-Compensado (44) consiste, por exemplo, em uma forma de onda com pulsos (46) de largura temporal fixa (48), com amplitude inicial  $A_0$  (52) e final  $A_f$  (54), crescente exponencialmente com o tempo (50), com quantidade de bits (46) do Sinal Codificado Pré-Compensado (44) dependente do comprimento do código S adotado e com taxa de repetição dependente do comprimento da fibra óptica (16).

## REIVINDICAÇÕES

- 1) **“SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO E PRÉ-COMPENSADO”** caracterizado por compreender uma unidade geradora de sinal de pulsos ópticos (10) gerar pulsos com código S pré-compensado com capacidade de geração de pulsos transmitido por um laser semiconductor (12) acoplado a uma fibra óptica (36A) inserido num amplificador de fibra dopada com érbio (32) dotado de um circuito de controle automático de ganho onde o sinal de saída é introduzido num multiplexador óptico (36B) seguido por um atenuador óptico (40) e multiplexador óptico (36A) que envia o sinal de volta ao amplificador de fibra dopado a érbio (32) que amplifica os dois sinais simultaneamente e a potência retroespalhada Raman gerada passará por um circulador óptico (18) seguido de um filtro óptico (22) levando o sinal a um receptor óptico (24) que enviará o sinal óptico já transformado em sinal elétrico a um processador de sinais (26) que fará o processamento e correlação dos sinais em informações e mapeamento de temperatura distribuída.
- 2) **“SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO E PRÉ-COMPENSADO”** de acordo com a reivindicação 1 caracterizado pela unidade geradora de sinal de pulsos ópticos (10) gerar pulsos com código S (30).
- 3) **“SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO E PRÉ-COMPENSADO”** de acordo com a reivindicação 1 caracterizado pela unidade geradora de sinal de pulsos ópticos (10) gerar pulsos com código S (30) pré-compensado (44).
- 4) **“SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO E PRÉ-COMPENSADO”** de acordo com a reivindicação 3 caracterizado pela forma do Sinal Codificado Pré-Compensado consistir em uma forma de onda com pulsos de largura temporal fixa e com amplitude crescente linearmente com o tempo.
- 5) **“SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO E PRÉ-COMPENSADO”** de acordo com a reivindicação 3 caracterizado por forma do Sinal Codificado Pré-



Compensado consistir em uma forma de onda com pulsos de largura temporal fixa e com amplitude crescente exponencialmente com o tempo.

**6) “SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO E PRÉ-COMPENSADO”**

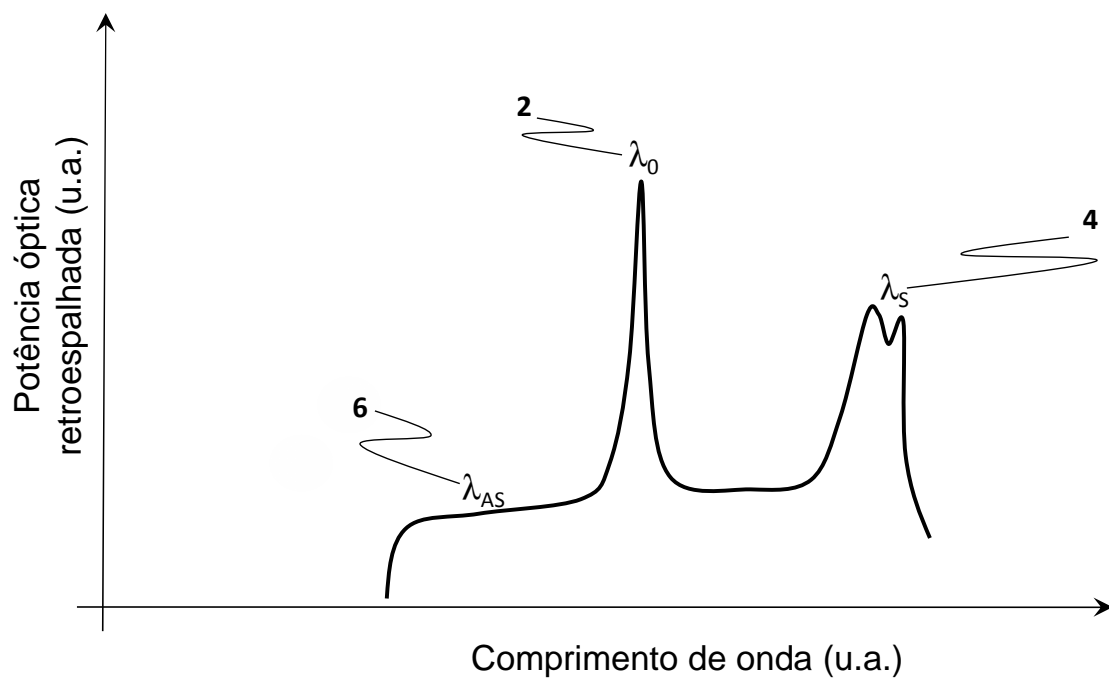
caracterizado por uma unidade geradora de sinal de pulsos ópticos (10) com capacidade de geração de pulsos com código S pré-compensado (44) transmitido por um laser semiconductor (12) acoplado a uma fibra óptica e inserido num amplificador de fibra dopado com érbio (32) o sinal de saída amplificado (42) conectado a fibra óptica (16) e a potência retroespalhada Raman (20) gerada passará por um circulador óptico (18) seguido de um filtro óptico (22) levando o sinal a um receptor óptico (24) que enviará o sinal óptico já transformado em sinal elétrico a um processador de sinais (26) que fará o processamento e correlação dos sinais em informações e mapeamento de temperatura distribuída.

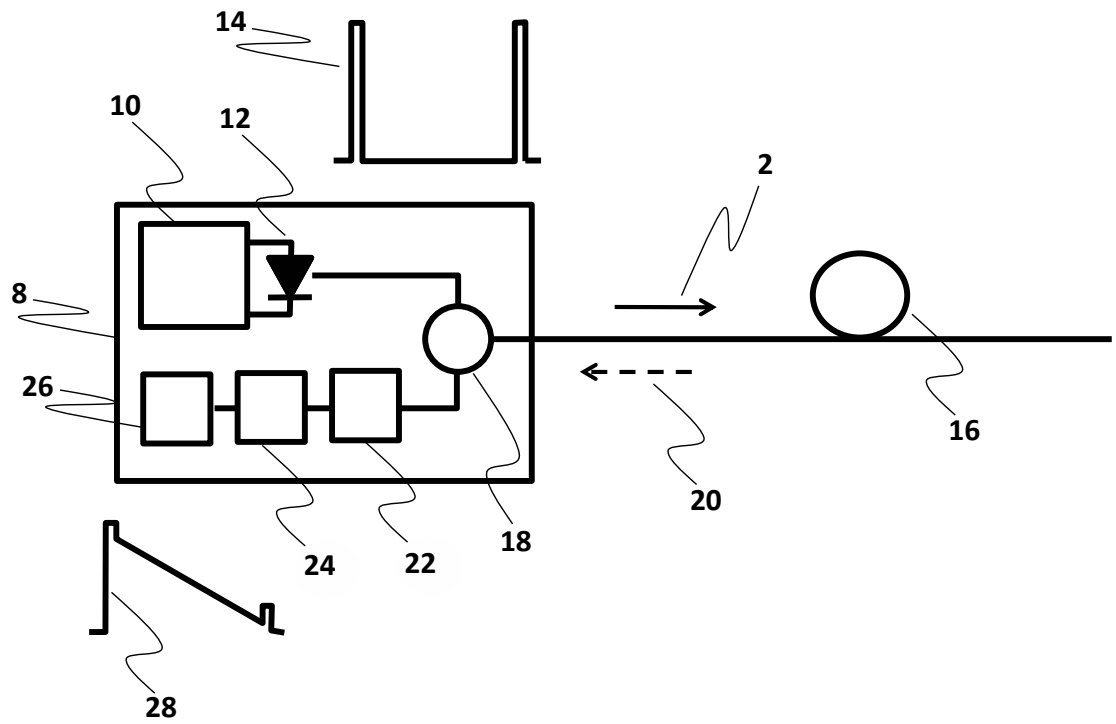
**7) “SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO E PRÉ-COMPENSADO”**

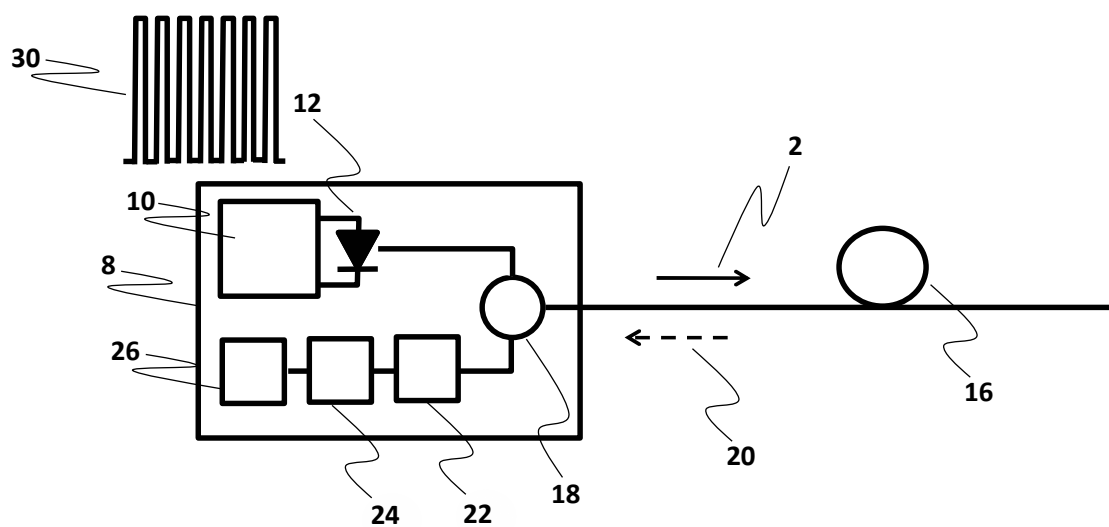
de acordo com a reivindicação 6 caracterizado por forma do Sinal Codificado Pré-Compensado consistir em uma forma de onda com pulsos de largura temporal fixa e com amplitude crescente linearmente com o tempo.

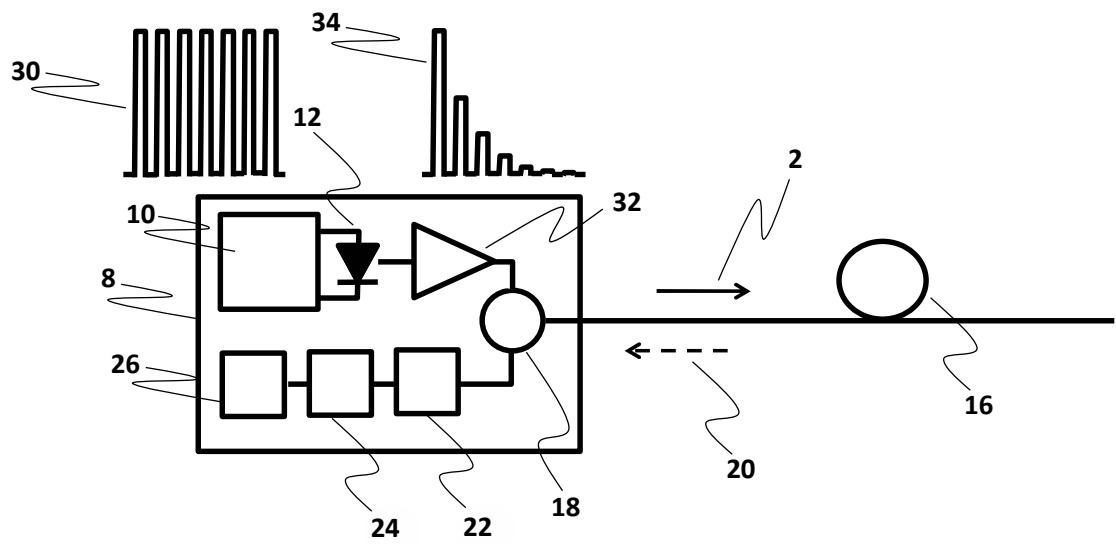
**8) “SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DISTRIBUÍDA COM AMPLIFICAÇÃO DE SINAL CODIFICADO E PRÉ-COMPENSADO”**

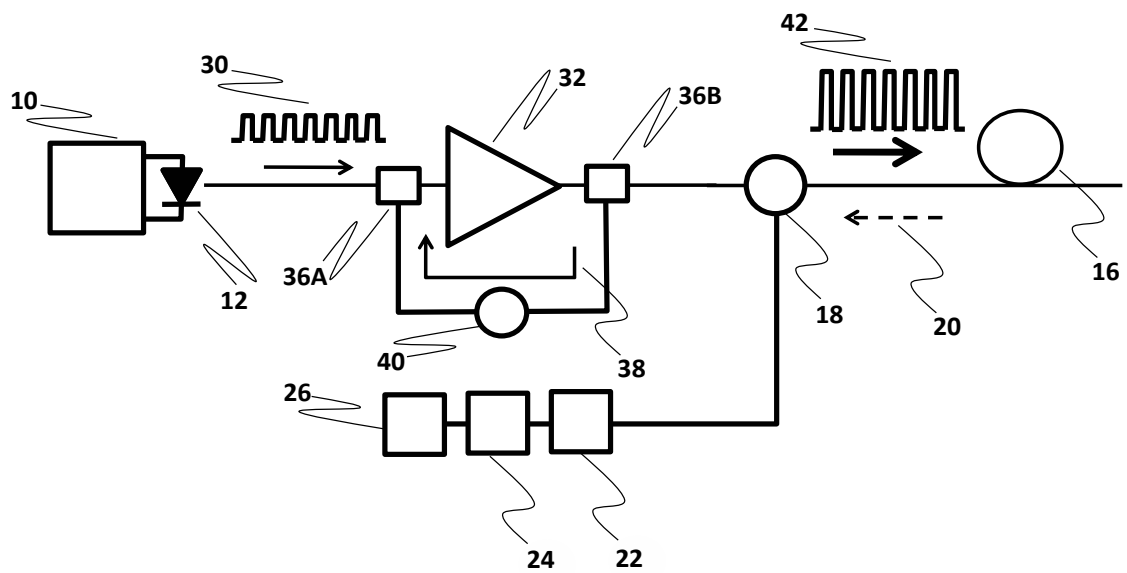
de acordo com a reivindicação 6 caracterizado por forma do Sinal Codificado Pré-Compensado consistir em uma forma de onda com pulsos de largura temporal fixa e com amplitude crescente exponencialmente com o tempo.

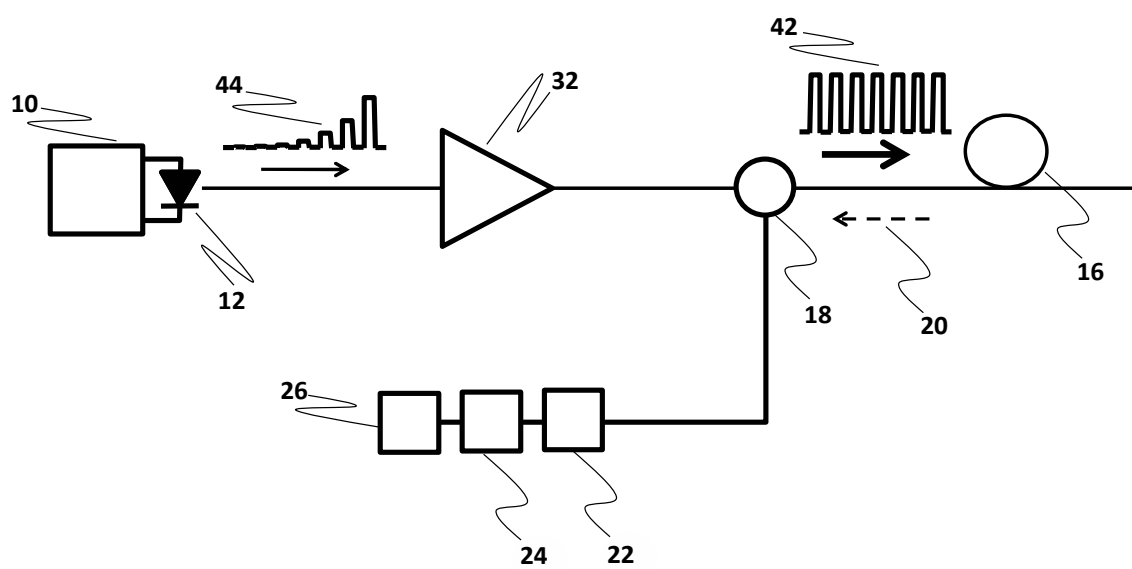
**Figura 1**

**Figura 2**

**Figura 3**

**Figura 4**

**Figura 5**

**Figura 6**

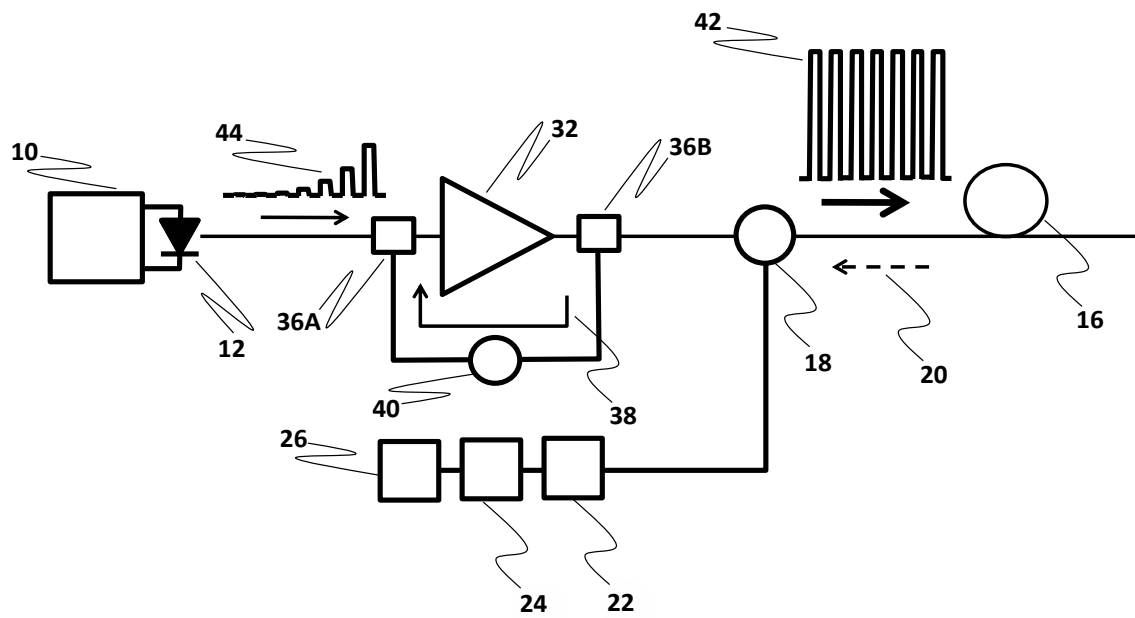
**Figura 7**



Figura 8

