

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: 2009.12.11	(73) Titular(es): UNIVERSIDADE DE AVEIRO	
(30) Prioridade(s):	UATEC, ED. DA REITORIA 3º PISO, CAMPUS	
(43) Data de publicação do pedido: 2011.06.14	UNIVERSITÁRIO DE SANTIAGO 3810-193	
(45) Data e BPI da concessão: 2013.01.22 18/2013	AVEIRO	PT
	INSTITUTO DE TELECOMUNICAÇÕES	PT
	(72) Inventor(es): PAULO SÉRGIO DE BRITO ANDRÉ	PT
	ANA MARIA ROCHA	PT
	PAULO FERNANDO DA COSTA ANTUNES	PT
	ANDRÉ FILIPE MOREIRA MARTINS	PT
	(74) Mandatário: LUÍS MANUEL DE ALMADA DA SILVA CARVALHO	
	RUA VÍCTOR CORDON, 14 1249-103 LISBOA	PT

(54) Epígrafe: **MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO EFEITO DE FUSÍVEL EM REDES ÓPTICAS E MONITOR CORRESPONDENTE**

(57) Resumo:

O PRESENTE INVENTO DIZ RESPEITO A UM MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO EFEITO DE FUSÍVEL EM REDES ÓPTICAS PARA IDENTIFICAR UNIVOCAMENTE A PRESENÇA DO EFEITO DE FUSÍVEL E PROVIDENCIAR SINAIS DE ALERTA QUE DESPOLETEM ACÇÕES PARA A SUA MITIGAÇÃO. É ESSENCIALMENTE CARACTERIZADO POR UTILIZAR PELO MENOS UMA REDE DE DIFRACÇÃO ESCRITA EM FIBRAS ÓPTICAS COMO SENSORES DE TEMPERATURA, COLOCADAS EM CONTACTO EXTERNO EM PONTOS DA FIBRA ÓPTICA A MONITORIZAR. COMPREENDER A SEGUINTE SEQUÊNCIA:- VERIFICAÇÃO DA MEIA LARGURA A MEIA ALTURA DO IMPULSO MEDIDO NA REDE DE DIFRACÇÃO E A COMPARAÇÃO COM UM INTERVALO EXPECTÁVEL COM OS VALORES DADOS PELA EXPRESSÃO $T_2 = L/(2V)$ SENDO T_2 A MEIA LARGURA A MEIA ALTURA, L O COMPRIMENTO DA REDE DE DIFRACÇÃO E V A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA ONDA TÉRMICA, OU CASO $L/(2V) < 20/F$ A EXPRESSÃO $T_2 < 20/F$ ONDE F É A TAXA DE AMOSTRAGEM DO SISTEMA DE INTERROGAÇÃO;- COMPARAÇÃO DO INTERVALO TEMPORAL DE IMPULSOS NO CASO DE DUAS REDES DE DIFRACÇÃO ESCRITAS COM O VALOR DADO PELA EXPRESSÃO $\delta T = V/D$ SENDO V A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA ONDA TÉRMICA E D O ESPAÇAMENTO ESPACIAL ENTRA AS DUAS REDES - CASO SE CONFIRME UNIVOCAMENTE A PRESENÇA DE UMA ONDA TÉRMICA, PROVIDENCIAR SINAIS DE ALARME PARA ACTIVAR OS PROCESSOS DE MITIGAÇÃO/CONTENÇÃO, NOMEADAMENTE, DO ALARME APS (AUTOMATIC POWER SHUTDOWN) DOS EMISSORES DAS REDES ÓPTICAS.O INVENTO REFERE-SE AINDA A UM MONITOR PARA LEVAR A CABO O REFERIDO MÉTODO.

RESUMO

**“MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO
EFEITO DE FUSÍVEL EM REDES ÓPTICAS E MONITOR
CORRESPONDENTE”**

O presente invento diz respeito a um método para a determinação da ocorrência do efeito de fusível em redes ópticas para identificar univocamente a presença do efeito de fusível e providenciar sinais de alerta que despoletem acções para a sua mitigação. É essencialmente caracterizado por utilizar pelo menos uma rede de difracção escrita em fibras ópticas como sensores de temperatura, colocadas em contacto externo em pontos da fibra óptica a monitorizar. Compreender a seguinte sequência:

- verificação da meia largura a meia altura do impulso medido na rede de difracção e a comparação com um intervalo expectável com os valores dados pela expressão $T2 = L/(2v)$ sendo $T2$ a meia largura a meia altura, L o comprimento da rede de difracção e v a velocidade de propagação da onda térmica, ou caso $L/(2v) < 20/f$ a expressão $T2 < 20/f$ onde f é a taxa de amostragem do sistema de interrogação;
- comparação do intervalo temporal de impulsos no caso de duas redes de difracção escritas com o valor dado pela expressão $\Delta t = v/d$ sendo v a velocidade de propagação da onda térmica e d o espaçamento espacial entra as duas redes

- caso se confirme univocamente a presença de uma onda térmica, providenciar sinais de alarme para activar os processos de mitigação/contenção, nomeadamente, do alarme APS (*automatic power shutdown*) dos emissores das redes ópticas.

O invento refere-se ainda a um monitor para levar a cabo o referido método.

DESCRIÇÃO

“MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO EFEITO DE FUSÍVEL EM REDES ÓPTICAS E MONITOR CORRESPONDENTE”

Campo Do Invento

O presente invento diz respeito à monitorização da ocorrência do efeito de fusível em redes ópticas, utilizando redes de difracção escritas em fibras ópticas, e ao controlo dos emissores de forma a interromper o processo.

O método proposto permite identificar a existência, sem ambiguidade, deste fenómeno e despoletar os necessários mecanismos de mitigação que limitem os danos.

Técnica Anterior

As redes ópticas têm sido escolhidas como suporte preferencial para a massificação das comunicações. A mudança de paradigma imposta, actualmente, ao tráfico de dados, pressupõe uma disseminação das redes ópticas por vastas áreas geográficas. Esta evolução está a resultar no incremento da potência óptica propagada (que podem superar 1 W), devido ao aumento do número de canais multiplexados espectralmente (técnica designada pelo seu acrónimo em Inglês - DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing) e /

ou pela introdução de técnicas de amplificação não lineares que resultam na injeção de elevadas potências ópticas nas fibras, tal como a amplificação Raman.

Foi demonstrado experimentalmente que para elevadas potências ópticas propagadas (superiores a 1 W) pode ser despoletado o fenómeno designado como efeito de fusível, descrito e estudado nas seguintes referências [1-4].

O efeito de fusível em fibras ópticas é iniciado num ponto de aquecimento local, usualmente devido a curvaturas apertadas resultantes de má prática de instalação ou utilização de conectores danificados. Durante esse processo, uma onda térmica deslizante que se desloca em direcção à fonte de sinal óptico, funde o núcleo da fibra óptica. A velocidade de propagação pode atingir valores até 10 metros por segundo [5]. Mais relevante, do ponto de vista financeiro, que a destruição da fibra é a destruição das fontes ópticas (usualmente lasers), quando a onda térmica atinge o emissor.

É, pois, desejável o desenvolvimento de técnicas de interrupção, mitigação e monitorização do efeito fusível em fibras ópticas.

As patentes US6526192 B2 e US 6640043 B2 descrevem a incorporação de componentes no percurso óptico que interrompam a propagação da onda térmica. Estes

componentes por apresentarem uma área efectiva do núcleo maior ou por serem produzidos por um material diferente da Sílica requerem potências de limiar para o início e propagação do fenómeno maiores do que a potência do sinal propagado. Mais ainda, estes componentes requerem a sua substituição no caso de alteração da potência do sinal propagada, e não providenciam sinais de alarme caso o efeito seja despoletado.

A patente US6490389 B1 descreve um processo para detectar a luz emitida pela onda térmica propagada e um processo para monitorar a transparência da fibra óptica que sofre alterações na presença do efeito de fusível. No entanto, por se tratar de um monitor activo não permite a sua instalação em locais recônditos da rede óptica, sem acesso a energia eléctrica.

A patente US 6628871 B2 descreve um processo para proteger as redes ópticas do efeito fusível, através da limitação da potência óptica propagada a um limite inferior ao limiar para iniciar o processo. No entanto, por se tratar de um processo que se baseia unicamente na estimativa da potência óptica necessária para iniciar o processo, pode resultar num cálculo por defeito, ou num valor excessivo na presença de fibras com um tempo de vida já elevado.

O pedido de patente US 2001/026362 diz respeito a um arranjo para determinar as dilatações e as temperaturas

de uma camada de cobertura aplicada sobre um substrato e suas variações, que compreende pelo menos um captador óptico que se encontra posicionado sobre o substrato e é realizado com pelo menos uma fibra óptica, sendo a referida fibra óptica aplicada sobre o substrato, compreendendo uma rede de Bragg utilizada como captador.

Descrição pormenorizada do invento

O monitor da ocorrência do efeito de fusível em redes ópticas, descrito neste documento, permite identificar univocamente a presença do efeito de fusível e providenciar sinais de alerta que despoletem acções para a sua mitigação.

Esta invenção é baseada na existência de uma onda térmica deslizante, que atinge temperaturas superiores a 1000°C no núcleo da fibra óptica. A invenção propõe a monitorização dessa onda térmica, através de redes de difracção escritas em fibras ópticas que monitorizam o incremento de temperatura, no exterior da fibra, que ocorre na presença da onda térmica. Esta solução apresenta a vantagem de ser um monitor passivo, de baixo custo, que pode ser colocado espacialmente afastado da unidade de interrogação e de promover uma resposta não ambígua na identificação da ocorrência do efeito de fusível.

Breve descrição das figuras

As realizações/implementações da invenção serão descritas com base nas figuras anexadas:

A figura 1 representa a implementação do monitor;

A figura 2 representa o esquema do dispositivo de acoplamento da rede de difracção escrita em fibras ópticas com as fibras a monitorar;

A figura 3 representa o diagrama do método de determinação da presença do efeito de fusível, utilizando o monitor descrito na figura 1 e o monitor descrito na figura 4;

A figura 4 representa o esquema da implementação do monitor do efeito de fusível, utilizando uma única fibra de monitoria com 2 redes de difracção;

A figura 5 representa o esquema da implementação do monitor do efeito de fusível, utilizando uma única rede de difracção;

A figura 6 representa o diagrama do método de determinação da presença do efeito de fusível, utilizando o monitor descrito na figura 5;

A figura 7 representa o gráfico com um exemplo da resposta obtida com o monitor descrito na figura 1 ou 4; e

A figura 8 representa o gráfico do exemplo da resposta obtida com o monitor descrito na figura 5.

Descrição de modelos de realização preferidos

Nos modos de realização que se seguem utilizam-se duas ou uma rede de difracção escritas para determinar a presença do efeito de fusível.

Configuração dupla

A implementação do monitor é descrita esquematicamente na figura 1. O sistema aqui descrito é instalado na estrutura física da rede óptica, permitindo a identificação, de forma não ambígua, do efeito de fusível (1) e fornece sinais de controlo para a desactivação da(s) fontes ópticas (2), permitindo, desta forma, a extinção do efeito de fusível e a protecção da infra-estrutura. Duas redes de difracção escritas em fibras ópticas (3) e (4) são colocadas em contacto externo, em dois pontos da fibra a monitorizar, distanciados entre si por um troço de fibra com comprimento, d , (5). As duas redes de difracção são interligadas através de um acoplador de potência (6) e ligadas ao sistema de monitorização (7) através de uma fibra óptica. As redes de difracção são monitorizadas com um sistema de interrogação com uma taxa de amostragem, f , tal como o descrito na referência [6]. O acoplamento entre as fibras que contêm as redes de difracção (8) e a fibra a monitorizar (9) pode ser implementado com recurso a um suporte construído com material com baixa condutividade térmica (PTFE, por exemplo) (10) o espaço entre fibras será preenchido com um composto de elevada condutividade térmica (11), tal como descrito na figura 2.

A diferença temporal entre os dois máximos de temperatura identificados pelas redes de difracção (3) e (4), Δt , está relacionada com a velocidade de propagação da

onda térmica de fusão, v , e o espaçamento espacial entre as redes de difracção, d , através da expressão 1.

$$\Delta t = v/d \quad (\text{expressão 1})$$

A meia largura a meia altura, T_2 , de cada um dos máximos está relacionada com o comprimento da rede de difracção, L , através da expressão 2.

$$T_2 = L/(2 v) \quad (\text{expressão 2})$$

A velocidade de propagação da onda térmica depende de diversos factores, sendo que os valores reportados indicam que esteja compreendida entre 0,1 m/s e 10 m/s [6,7]. A aplicação da expressão 2, para estes valores típicos de velocidade de propagação resulta em valores de T_2 que só podem ser determinados recorrendo a interrogadores com taxas de amostragem superiores a 100 Hz. A utilização de interrogadores com taxas de amostragem mais reduzidas implica que a expressão 2 seja alterada para a seguinte iniquidade:

$$\text{Caso } L/(2 v) < 20/f \quad \text{então} \quad T_2 < 20/f \quad (\text{expressão 3})$$

A identificação da onda térmica deslizante requer a verificação, recorrendo às expressões 1 e 2 ou 3, da conformidade dos dados recolhidos com os previstos, para o intervalo de velocidades típicas, para a largura a meia

altura da onda de fusão e para a diferença temporal entre os dois impulsos.

Como decorre da figura 3, onde é ilustrado o procedimento de identificação unívoca da presença do efeito de fusível, este é iniciado com a verificação da meia largura a meia altura do impulso medido na primeira rede de difracção (12) e a sua comparação com o intervalo expectável (13), dado pela expressão 2 ou expressão 3. Caso o valor medido se enquadre dentro do intervalo expectável (14) é verificada a meia largura a meia altura do impulso medido na segunda rede de difracção (15) e a sua comparação com o intervalo expectável (16), dado pela expressão 2 ou expressão 3. Caso o valor medido se enquadre dentro do intervalo expectável para a meia largura a meia altura dos impulsos (17) é verificado o intervalo temporal expectável para o tempo entre impulsos (18) e a sua comparação com valor dado pela expressão 1.

Caso se confirme univocamente a presença da onda térmica, determinada pelo passo (19), são tomadas medidas de mitigação/contenção (20) que passam pela desactivação das fontes ópticas, nomeadamente, a activação da entrada de alarme APS (automatic power shutdown) dos emissores das redes ópticas.

A implementação pode ser realizada utilizando duas redes de difracção (21) e (22) gravadas sobre a mesma fibra óptica com comprimentos de onda de Bragg diferentes,

de acordo com a figura 4. Nesta implementação, o acoplador de potência (6) é dispensado. A determinação da presença do efeito de fusível é realizada recorrendo ao esquema da figura 3.

Configuração simples

Esta implementação utiliza uma única rede de difracção (23) para determinar a presença do efeito de fusível, de acordo com o esquema da figura 5.

A identificação da onda térmica deslizante requer a verificação, recorrendo à expressão 2 ou expressão 3, da conformidade dos dados recolhidos para a meia largura a meia altura do impulso, para o intervalo de valores de velocidade típicos.

Como decorre da figura 6, onde é ilustrado o procedimento de identificação unívoca da presença do efeito de fusível, é iniciado com a verificação da meia largura a meia altura do impulso medido na rede de difracção (24) e a sua comparação com o intervalo expectável (25), dado pela expressão 2 ou expressão 3. Caso o valor medido se enquadre dentro do intervalo expectável (26) são tomadas medidas de mitigação/contenção (27) que passam pela desactivação das fontes ópticas, nomeadamente, a activação da entrada de alarme APS (automatic power shutdown) dos emissores das redes ópticas.

Forma preferencial de implementação

A implementação preferencial do sistema descrito na figura 1, pode ser realizada recorrendo a fibras ópticas monomodo (SMF28), com uma distância entre redes de difracção (d) de 2 m. A implementação das redes de difracção, também, escritas em fibras SMF 28, é realizada com um comprimento de 0,003 m. A determinação dos sinais foi realizada recorrendo a um sistema de interrogação com uma taxa de amostragem de 200 Hz.

A resposta medida pelas redes de difracção da temperatura resultante pela passagem na onda térmica no ponto de monitoria, pode ser visualizada na figura 7. Nessa figura, mostra-se a resposta obtida quando no sistema se propaga uma onda de fusão gerada por um sinal óptico originado por uma potência de 2,5 W. O momento em que ocorre o valor máximo de temperatura corresponde à passagem da onda térmica pela posição espacial de cada uma das redes de difracção, designadas por (3) e (4). A onda térmica deslizando provoca um aumento de temperatura local idêntico ao perfil térmico característico da onda de fusão [7].

Neste caso, a meia largura a meia altura de cada impulso (28) e (29) é de 0,04 s e a diferença temporal (30) entre cada impulso é de 4,54 s, de onde resulta uma velocidade de 0,44 m/s.

A implementação preferencial do sistema descrito na figura 4, pode ser realizado recorrendo a fibra óptica monomodo (SMF28). A implementação da rede de difracção,

também, escrita em fibras SMF 28, é realizada com um comprimento de 0,010 m. A determinação dos sinais foi realizada recorrendo a um sistema de interrogação com uma taxa de amostragem de 200 Hz.

A resposta medida pela rede de difracção relativamente ao valor de temperatura resultante da passagem na onda térmica, pode ser visualizado na figura 8, onde se observa um impulso com uma meia largura a meia altura (31) de 0,065 s. Na figura 8 mostra-se a resposta obtida quando no sistema se propaga uma onda de fusão gerada por um sinal óptica originado com uma potência de 3,0 W.

Referências

- [1] R. Kashyap, K. J. Blow, "Observation of catastrophic self-propelled self-focusing in optical fibres", *Electron. Lett.*, Vol. 24, pp. 47-49, 1988.
- [2] E. M. Dianov, V. E. Bufetov, V. P. Efremov, A. E. Rakitin, M. A. Melkumov, M I. Kulish and A. A. Frolov, "High-Speed Photography, Spectra, and Temperature of Optical Discharge in Silica-Based Fibers", *IEEE Photonic Tech. L.*, Vol. 18, pp. 752-754, 2006.
- [3] K. Seo, N. Nishimura, M. Shiino, R. Yuguchi, H. Sasaki, "Evaluation of High-power in Optical Fiber Links", *Furukawa Review*, No 24, pp.17-22, 2003.
- [4] K. Takenaga, S. Omori, R. goto, S. Tanigawa, S. Matsuo, K. Himeno, "Evaluation of High-power Endurance of

Bend-Insensitive Fibers", P. OFC/NFOE C2008, JWA11, San Diego, California, USA, 2008.

[5] E. M. Dianov, V. E. Fortov, I. A. Bufetov, V. P. Efremov, A. E. Rakitin, M. A. Melkumov, M. I. Kulish, and A. A. Frolov, "High-Speed Photography, Spectra, and Temperature of Optical Discharge in Silica-Based Fibers", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 18, NO. 6, MARCH 15, 2006

[6] Jon Thomas Kringlebotn, et al , "Device for measurement of optical wavelengths", US patent 6097487, 2000.

[7] S. Todoroki, "Origin of periodic void formation during fiber fuse", OPTICS EXPRESS, vol. 13, pp. 6381-6389, 2005

REIVINDICAÇÕES

1. Método para a determinação da ocorrência do efeito de fusível (1) em redes ópticas para identificar univocamente a presença do efeito de fusível (1) e providenciar sinais de alerta que despoletem acções para a sua mitigação, caracterizado por utilizar pelo menos uma rede de difracção (3, 4) escrita em fibras ópticas (2) como sensores de temperatura, colocadas em contacto externo em pontos da fibra a monitorizar através de uma fibra óptica, e compreender:

- verificação da meia largura a meia altura do impulso medido na rede de difracção e a comparação com um intervalo expectável com os valores dados pela expressão $T2 = L/(2v)$ sendo $T2$ a meia largura a meia altura, L o comprimento da rede de difracção e v a velocidade de propagação da onda térmica ou expressão caso $L/(2v) < 20 f$ então $T2 < 20/f$ onde f é a taxa de amostragem do sistema de interrogação.

- comparação do intervalo temporal de impulsos no caso de duas redes de difracção (3, 4) escritas com o valor dado pela expressão $\Delta t = v/d$ sendo v a velocidade de propagação da onda térmica e d o espaçamento espacial entre as duas redes;

- caso se confirme univocamente a presença de uma onda térmica, providenciar sinais de alarme para activar os processos de mitigação/contenção, nomeadamente, do alarme APS (automatic power shutdown) dos emissores das redes ópticas.

2. Método para a determinação da ocorrência do efeito de fusível (1) em redes ópticas de acordo com a reivindicação anterior, caracterizado por as acções de mitigação/contenção compreenderem a desactivação da fonte óptica e a activação de sinais de alarme dos emissores das redes ópticas.

3. Método para a determinação da ocorrência do efeito de fusível (1) em redes ópticas de acordo com as reivindicações anteriores, caracterizado por as duas redes de difracção (3, 4) escritas em fibras ópticas (2) serem interligadas por um acoplador de potência (6).

4. Método para a determinação da ocorrência do efeito de fusível (1) em redes ópticas de acordo com as reivindicações anteriores, caracterizado por o acoplamento (8) entre as fibras que contêm as redes de difracção (3, 4) e a fibra a monitorizar (9) ser implementado com recurso a um suporte construído com material com baixa condutividade térmica (10) e o espaço entre fibras ser preenchido com um composto de elevada condutividade térmica (11).

5. Método para a determinação da ocorrência do efeito de fusível (1) em redes ópticas de acordo com a reivindicação anterior, caracterizado poro material com baixa condutividade térmica ser politetrafluoretileno (PTFE).

6. Monitor para a realização do método de acordo com as reivindicações anteriores caracterizado por compreender meios para fornecer sinais de controlo para a desactivação das fontes ópticas (2), permitindo desta forma a extinção do efeito fusível (1) sendo dotado de uma ou duas redes de difracção (3, 4) escritas na fibra óptica (2) ligadas a um sistema de monitorização (7) através de fibra óptica, redes essas que são interligadas entre si por um acoplador de potência (6), na presença do efeito de fusível (1) a resposta medida na rede de difracção, através do equipamento generico de interrogação, seria alterada de acordo com os perfis o monitor com 2 redes ou (8) do monitor com uma rede, a confirmação da presença do efeito de fusível produzindo um sinal eléctrico que desactiva as fontes ópticas (2) através do sistema de *interlock* dos equipamentos laser.

Lisboa, 19 de Dezembro de 2012

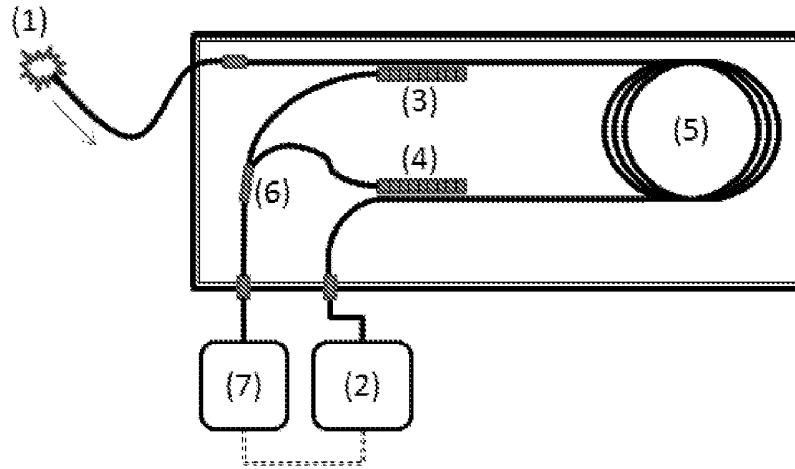


Figura 1

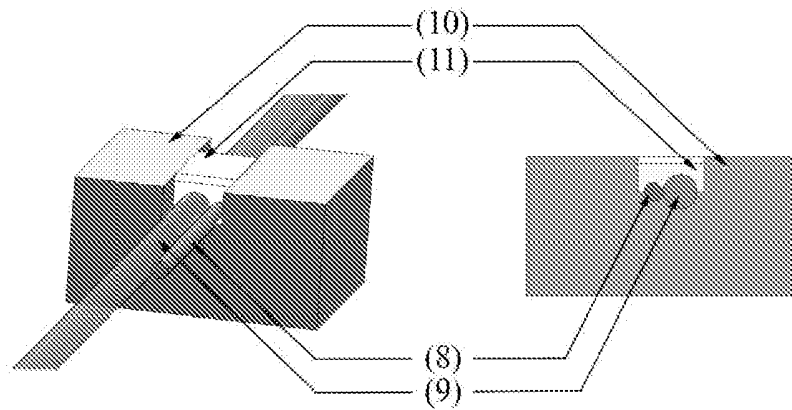


Figura 2

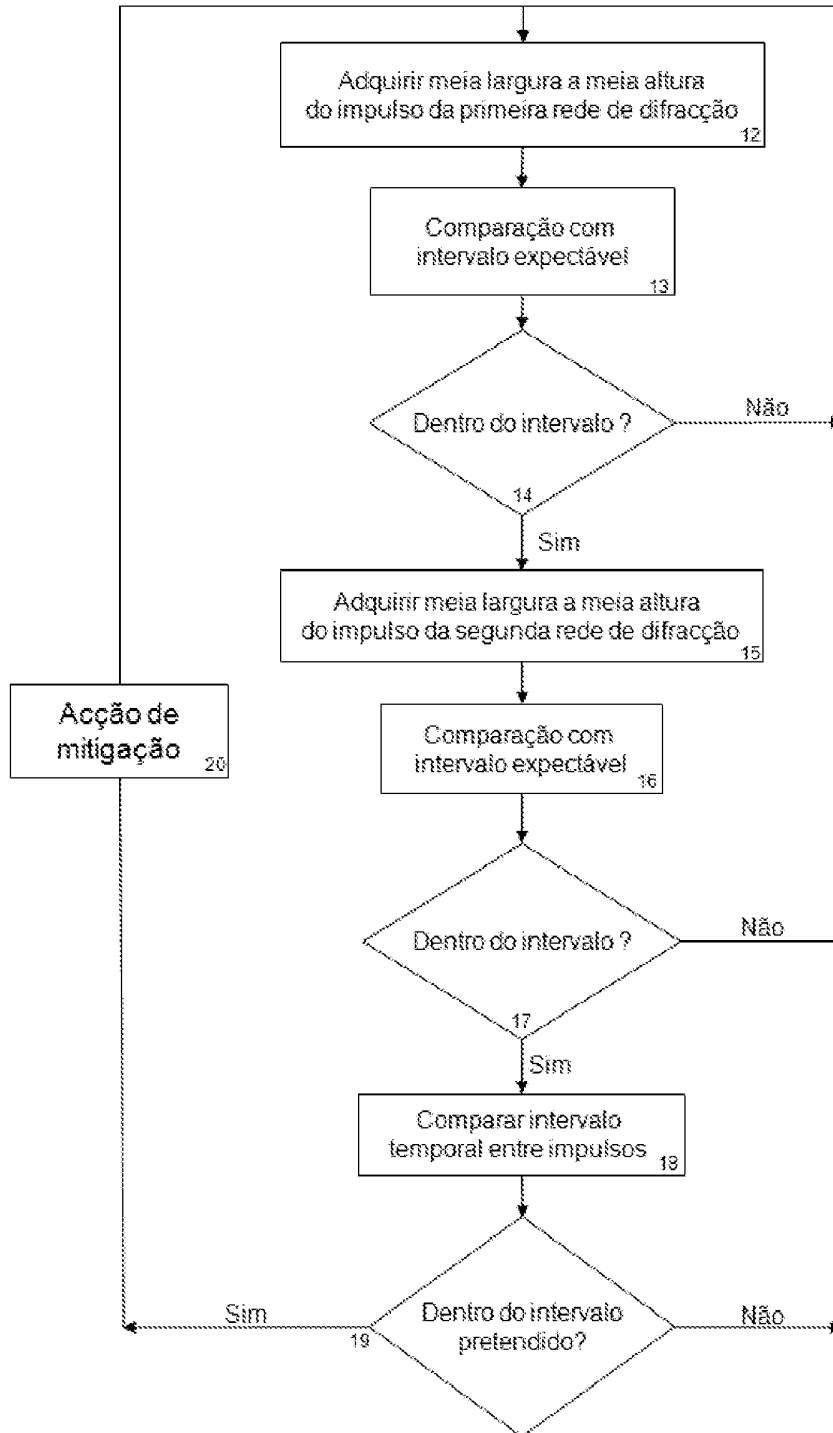


Figura 3

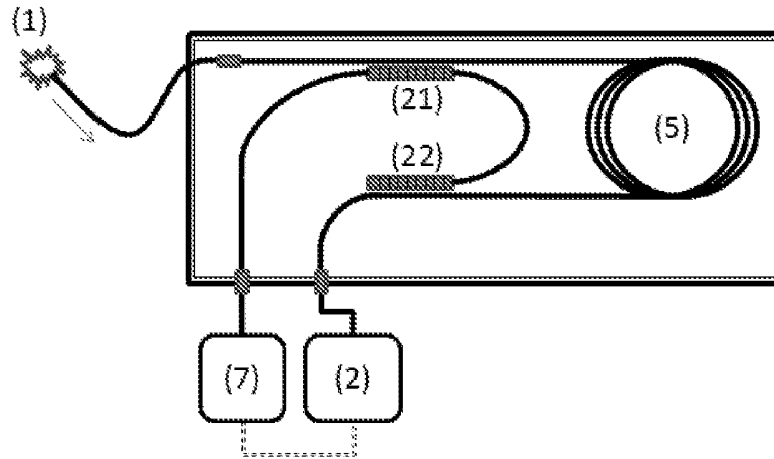


Figura 4

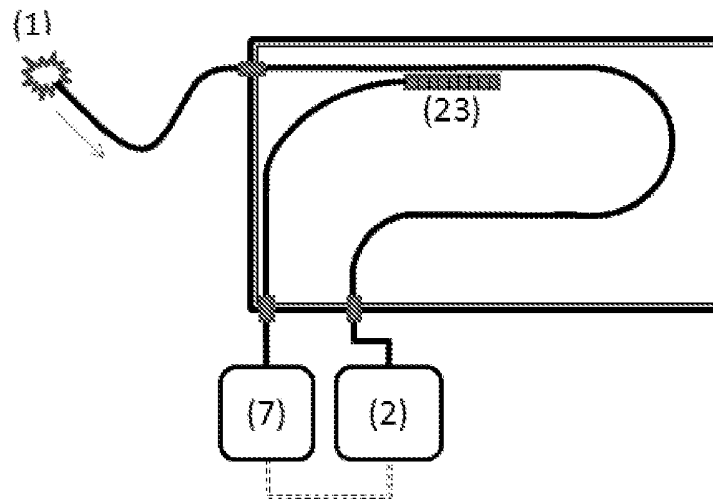


Figura 5

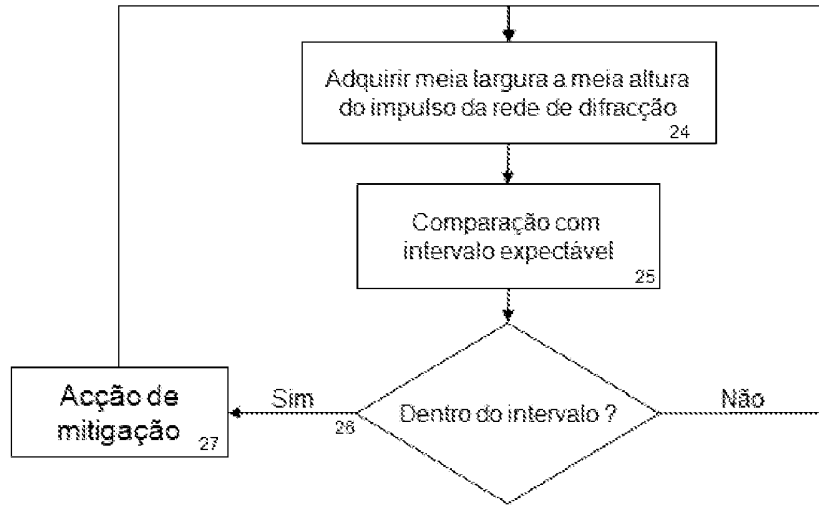


Figura 6

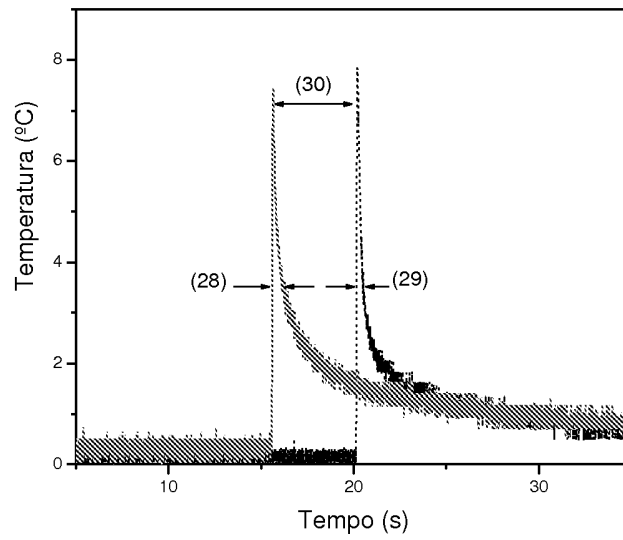


Figura 7

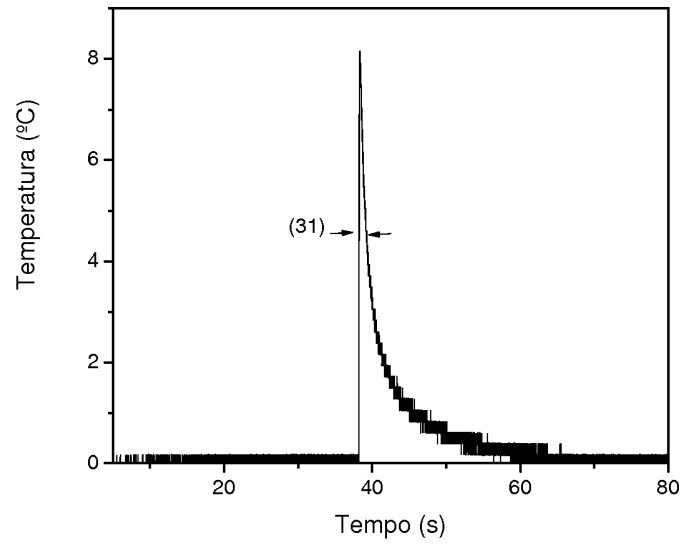


Figura 8