

## XII - PO (18)

## DESMODULAÇÃO DE SENSORES DE BRAGG UTILIZANDO UM FILTRO BICÓNICO EM FIBRA ÓPTICA

A. B. Lobo Ribeiro<sup>(a)</sup>, L. A. Ferreira<sup>(a)</sup>, M. Tsvetkov<sup>(b)</sup> e J. L. Santos<sup>(c,a)</sup><sup>(a)</sup>Centro de Optoelectrónica, INESC-Porto, R. José Falcão 110, 4000 Porto, Portugal.<sup>(b)</sup>General Physics Institute, Russian Academy Sciences, 30 Vavilov st., Moscow, Russia.<sup>(c)</sup>Laboratório de Física, Faculdade de Ciências, Univ. Porto, R. Campo Alegre-687, 4150 Porto, Portugal.

É descrita uma técnica de processamento de sinal de sensores de fibra óptica baseados em redes de difracção em fibra (sensores de Bragg). Nela os desvios do comprimento de onda de Bragg são detectados através da utilização de um filtro bicónico em fibra óptica. Este dispositivo exhibe uma dependência espectral periódica da potência óptica transmitida, permitindo uma gama dinâmica não ambígua de medição de 20 nm. Foi conseguida com esta técnica uma resolução dinâmica de  $1.5 \mu\text{strain}/\sqrt{\text{Hz}}$  quando utilizada para detectar deformações mecânicas.

Durante os últimos anos, tem sido realizado um esforço considerável no desenvolvimento de esquemas simples e baratos para a detecção do desvio no comprimento de onda de Bragg de redes de difracção em fibra óptica, em especial quando utilizadas como elementos sensores<sup>[1]</sup>. Foram já demonstradas técnicas de desmodulação de elevada resolução baseadas em detecção interferométrica<sup>[2]</sup>, em filtros Fabry-Perot<sup>[3]</sup> e em filtros acusto-ópticos sintonizáveis<sup>[4]</sup>. Contudo, estas soluções são consideravelmente complexas e dispendiosas e, em muitos casos práticos, uma elevada resolução nem sempre é necessária. Neste contexto, é aqui demonstrada uma técnica de detecção com implementação mais simples e de baixo custo, a qual se baseia na filtragem espectral passiva utilizando um filtro bicónico (FB) em fibra óptica.

Neste esquema (Fig. 1), o sensor de Bragg (isto é, a rede de difracção em fibra operando como elemento sensor) ao ser iluminado por uma fonte óptica de espectro largo, irá reflectir uma porção do espectro da fonte com comprimento de onda central ( $\lambda_{\text{BS}}$ ) dado pela condição de Bragg. A radiação que é reflectida pelo sensor de Bragg ( $I_s$ ) é depois dividida em duas componentes: uma delas é filtrada pelo FB de tal maneira que a intensidade óptica transmitida ( $I_1$ ) é determinada pelo seu comprimento de onda; a outra componente é utilizada como intensidade óptica de referência ( $I_2$ ). Assumindo que a dependência espectral do filtro é linear na zona do comprimento de onda de Bragg do sensor, então a razão entre as intensidades de sinal e de referência será proporcional ao comprimento de onda de Bragg e independente de flutuações de potência ao longo do sistema. Este filtro é, basicamente, um troço de fibra óptica monomodo do tipo "depressed-cladding" onde as dimensões radiais foram reduzidas através de fusão por arco eléctrico<sup>[5]</sup>. A resposta espectral deste filtro exhibe um comportamento oscilatório com grande amplitude de modulação, permitindo a propagação de certos comprimentos de onda através da fibra, enquanto que atenua drasticamente outros. A Fig. 1 mostra o esquema implementado.

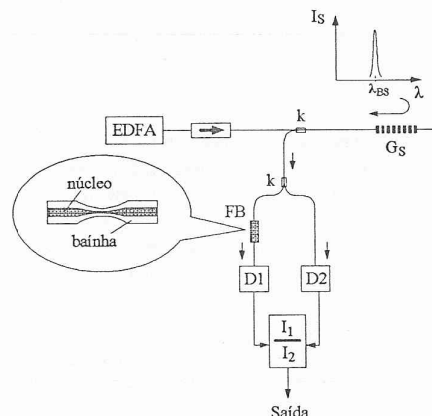


Fig. 1 Esquema de desmodulação implementado.

Uma fonte superflourescente em fibra dopada com érbio (EDFA com nível de dopagem  $\approx 2000$  ppm) emitindo  $\approx 500 \mu\text{W}$ , foi utilizada como fonte de espectro largo (em conjunto com um isolador óptico - isolador de Faraday - de modo a evitar a emissão laser). Os acopladores direccionais tinham um coeficiente nominal de acoplamento ( $k$ ) de 3 dB e todas as pontas livres de fibra óptica foram cuidadosamente colocadas em gel refractivo, para se evitar reflexões de Fresnel. Usando a técnica da "máscara de fase"<sup>[6]</sup>, foi fabricado um sensor de Bragg com um comprimento de onda de Bragg de 1524 nm (à temperatura ambiente e sem tensão elástica aplicada), reflectividade de  $\approx 95\%$  e largura de banda de  $\approx 0.2$  nm. O filtro bicónico exibindo a função espectral representada na Fig. 2, foi desenhado com período de oscilação de  $\approx 45$  nm e profundidade de modulação de  $\approx 8$  dB. No intervalo 1520 - 1530 nm, o filtro apresenta uma resposta praticamente linear de  $\approx 0.5$  dB/nm. Para medir o desvio do comprimento de onda de Bragg do sensor, a razão entre os dois sinais detectados ( $I_1$  e  $I_2$ ) foi implementada utilizando um divisor analógico electrónico (AD540). Desta maneira,

é possível compensar os efeitos associados com flutuações de potência da fonte óptica, assim como perdas variáveis de potência que possam ocorrer nos acopladores.

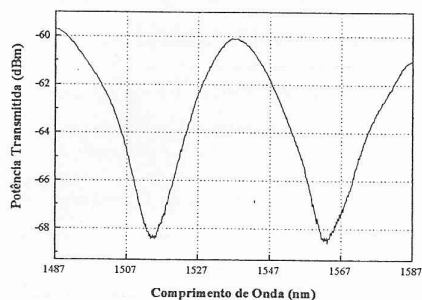


Fig. 2 Resposta espectral do filtro bicónico (quando iluminado por uma fonte de "luz branca").

Para testar este esquema de desmodulação, o sensor de Bragg foi previamente fixado a um elemento piezoelétrico (PZT) e sujeito a uma deformação axial através da aplicação de uma tensão eléctrica ao PZT. A Fig. 3 mostra a saída do sistema quando o sensor é submetido a deformações axiais até um máximo de 700  $\mu$ strain (1  $\mu$ strain corresponde à deformação de 1 parte em  $10^6$ ). É visível a linearidade do sistema através de toda a região de medição. Os valores obtidos por regressão linear indicam uma resolução estática para a deformação de  $\approx \pm 3.5 \mu$ strain.

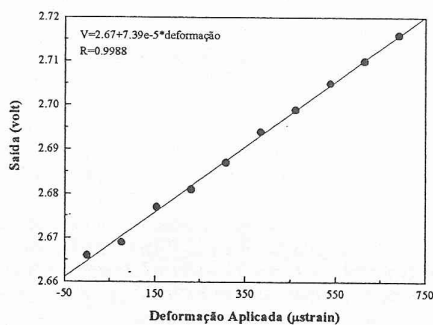


Fig. 3 Resposta do sistema quando o sensor é submetido a deformação axial.

Para medir a resolução dinâmica do sistema sensor, foi aplicado ao PZT um sinal sinusoidal com amplitude de 7.8  $\mu$ strain e frequência  $\approx 8$  Hz. A Fig. 4 mostra o espectro do sinal detectado. Foi medida numa largura de banda de 62.5 mHz uma razão sinal-ruído de  $\approx 28$  dB, a que corresponde uma deformação dinâmica mínima detectável de  $\approx 1.5 \mu$ strain/ $\sqrt{\text{Hz}}$ . Apesar de a resolução conseguida com este esquema de desmodulação ser menor do que a obtida por outras técnicas (o caso extremo sendo o esquema de

desmodulação interferométrico<sup>[2]</sup>) é, mesmo assim, suficiente para um importante número de aplicações práticas como, por exemplo, em estruturas compósitas de aviões, pontes, barragens, edifícios, etc. No entanto, é importante salientar que a resolução obtida com o esquema aqui demonstrado pode, até certo ponto, ser adaptada à aplicação desejada através do desenho do filtro bicónico, isto é, actuando no seu período de oscilação espectral e/ou na sua profundidade de modulação.

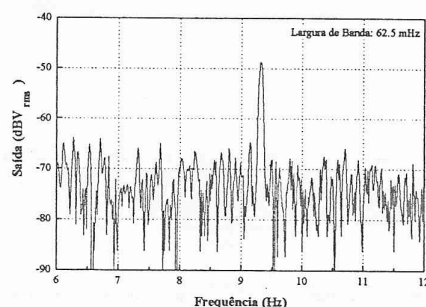


Fig. 4 Espectro obtido quando é aplicado ao sensor uma deformação dinâmica com amplitude de 7.8  $\mu$ strain.

Em conclusão, foi demonstrada uma nova técnica para a detecção do desvio do comprimento de onda de sensores de Bragg, que utiliza um filtro bicónico em fibra óptica. O filtro apresentava uma gama não ambígua de medição de  $\approx 20$  nm e uma razão de extinção de potencia de  $\approx 8$  dB. Com este esquema de desmodulação foram obtidas resoluções estática e dinâmica para a deformação axial de  $\approx \pm 3.5 \mu$ strain e 1.5  $\mu$ strain/ $\sqrt{\text{Hz}}$ , respectivamente.

**Agradecimentos:** A. B. Lobo Ribeiro e L. A. Ferreira, alunos de Doutoramento da FCUP, agradecem o suporte financeiro da JNICT (Programa PRAXIS XXI).

[1] A.D. Kersey, in *Distributed and Multiplexed Fiber Optic Sensors III*, Proc. SPIE 2071, Boston, USA, 30 (1993).

[2] A.D. Kersey, T.A. Berkoff and W.W. Morey, *Electron. Lett.* **28**, 236 (1992).

[3] A.D. Kersey, T.A. Berkoff and W.W. Morey, in *9<sup>th</sup> Int. Conf. on Optical Fibre Sensors*, Proc. OFS'9, Firenze, Italy, 39 (1993).

[4] M.G. Xu, H. Geiger, J.L. Archambault, L. Reekie and J.P. Dakin, *Electron. Lett.* **29**, 1510 (1993).

[5] A.C. Boucouvalas and G. Georgiou, *IEE Proc. J.* **133**, 385 (1986).

[6] F.M. Araújo, J.M. Sousa e A.B. Lobo Ribeiro, Proc. da 9<sup>a</sup> Conf. Nac. de Física, FÍSICA'94, Covilhã, Portugal, 182 (1994).