

EFECTO DEL PARÁMETRO DE CONTROL DE LA VARIACIÓN MEDIA DE LA MODULACIÓN DE ÍNDICE EN REDES DE DIFRACCIÓN DE BRAGG DE FIBRA COMPENSADORAS DE DISPERSIÓN

P. Fernández, J.C. Aguado, J. Blas, F. González, I. de Miguel, R.M. Lorenzo, E.J. Abril, M. López

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática
Universidad de Valladolid
patfer@tel.uva.es

ABSTRACT

The apodized linearly chirped Bragg grating filters (ALCFBG) are of particular interest for compensating the dispersion in fiber-optic WDM communication networks. In this paper we analyze the effect of the fabrication process on the averaged refractive index of the designed grating, which will influence the spectral reflectivity and the time-delay response of the filter for gaussian apodization profiles.

1. INTRODUCCIÓN

Las redes de difracción de Bragg en fibra configuran una base muy versátil para el diseño de dispositivos muy solicitados en redes de telecomunicaciones con multiplexación por división en longitud de onda WDM como compensadores de dispersión cromática, filtros muy selectivos en longitud de onda, demultiplexores, etc. La tecnología de fabricación por radiación UV fotoinducida cuenta con una gran experiencia [1], y se ha logrado un control bastante preciso sobre el periodo local de la red de difracción o *grating* Λ_0 , y del perfil de apodización [2]. En algunos trabajos [3,4] se ha comenzado a tener en cuenta la influencia del proceso de fabricación de la red de Bragg sobre la variación del perfil del índice de refracción. Durante el proceso de fabricación, los haces interferentes provocan una modulación de índice de refracción del núcleo n_0 , pero asimismo aumentan el índice de refracción medio, de modo que algunos autores modelan este efecto como una constante de acoplamiento "dc" o en continua que se superpone a la modulación "ac" de índice [5]. El parámetro de fabricación m corrige la expresión tradicional de $n(z)$ para obtener una expresión más realista [4], siendo en general $m > 0$:

$$n(z) = n_0 \left(1 + \Delta n(z) \left\{ m + \cos \left[\frac{2\pi}{\Lambda_0} + \phi(z) \right] \right\} \right) \quad (1)$$

Donde n_0 es el índice de refracción del núcleo sin perturbación, $\Delta n(z) = \Delta n T(z) / n_0$ es la envolvente de la función de la variación inducida de índice y $T(z)$ es el perfil de apodización. La función $\phi(z) = Fz^2/L$ representa la variación en el período del grating de longitud L , en el caso de redes de difracción con *chirp* lineal, que

son las empleadas para compensación de la dispersión cromática introducida por la fibra óptica. Para calcular la longitud de la red de difracción se puede utilizar la siguiente expresión [6]:

$$L_0 = \frac{c \Delta \lambda D_f L_f}{2n} \quad (2)$$

donde L_0 es la longitud mínima que ha de tener el grating para compensar la dispersión D_f de la fibra óptica en un tramo de longitud L_f , y para un ancho de banda en longitud de onda de $\Delta \lambda$. No obstante, se suele utilizar una longitud mayor que la que calcula (2) ya que ésta no tiene en cuenta la apodización del filtro. Para compensar los efectos de la apodización se utiliza una longitud efectiva que haría que el filtro apodizado de longitud $L_{ef} = L_0 / \alpha$ ($\alpha < 1$) fuera equivalente a efectos de la profundidad media de la modulación a un filtro uniforme de longitud L_0 [7]. El factor de corrección α viene dado por el perfil de la función de apodización:

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \int_{L_0/2}^{L_0} T(z) dz \quad (3)$$

Una vez conocida la longitud de la red de difracción se puede conocer el valor del parámetro F de chirp necesario para compensar el citado valor de dispersión, considerando que el período de Bragg de referencia se sitúa en el centro de la red de difracción [6]:

$$F = \frac{4\pi m^2 L_{ef}^2}{\lambda_B^2 c D_f L_f} \quad (4)$$

2. DISEÑO Y SIMULACIÓN

La función de apodización puede ser escogida en función de minimizar la dispersión de tercer orden, de minimizar el rizado del retardo de grupo, de un espectro con respuesta más plana, etc. [4]. Como función de apodización se ha considerado una gaussiana de parámetro $G=10$, como expresa (5). El resto de parámetros de diseño para una red de difracción típica de compensación de dispersión cromática en tercera ventana son: longitud de onda de referencia de $\lambda_0=1550$ nm, correspondiente al período de Bragg

Λ_0 localizado en el punto medio de la perturbación, e índice de refracción efectivo $n=1.4473$.

$$T(z) = \exp\left(-G\left(\frac{z}{L_{ef}}\right)^2\right) \quad (5)$$

El valor característico del coeficiente de dispersión de la fibra óptica monomodo estándar es $D_f=17\text{ps/nmKm}$ que se considerará en un tramo de 100 km. El ancho de banda de trabajo en este ejemplo es de 0,4 nm, con lo que resultan unos valores de $L_0 \approx 7$ cm, $L_{ef} \approx 9,43$ cm, y un factor de chirp de $F \approx 191$, según (2), (3) y (4). Se ha escogido un valor de profundidad de modulación de $\Delta n = 5 \cdot 10^{-5}$, ya que valores más elevados pueden dar lugar a un incremento de la dispersión de tercer orden, sobre todo en gratings relativamente cortos ($L < 10\text{cm}$). El efecto del parámetro de control m de fabricación, se puede integrar en las ecuaciones de modos acoplados a partir de la expresión (1). Hemos calculado numéricamente la respuesta del grating mediante el método de transferencia de matrices [8].

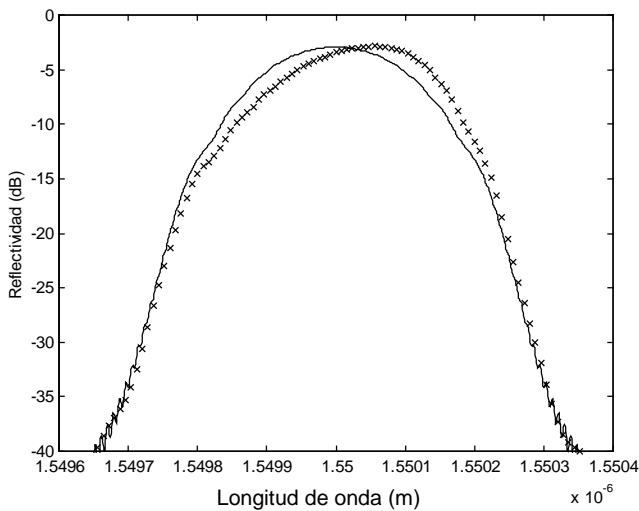


Figura 1. Reflectividad del filtro para $m=0$ (trazo continuo) y $m=1$ (trazo discontinuo).

3. CONCLUSIONES

En la Fig. 1 se puede observar el efecto producido por el factor de fabricación m . En la respuesta espectral de amplitud del filtro se puede observar que, a medida que éste aumenta, incrementa la asimetría del filtro en reflectividad, presentando reflectividades mayores a frecuencias más bajas. Este efecto sigue este patrón de comportamiento de forma general en las redes apodizadas con chirp lineal. En el caso del retardo, Fig. 2, se puede observar que en ausencia de distorsión ($m=0$), caso ideal teórico la respuesta es más lineal, con lo cual el valor de dispersión se mantiene más constante y de signo opuesto a la dispersión nominal de la fibra, que es el objetivo de diseño. Sin embargo en presencia de distorsión de valor $m=1$ el retardo va perdiendo linealidad con lo

que la dispersión no se mantendrá tan constante en el ancho de banda de trabajo para cancelar la introducida por el enlace de fibra.

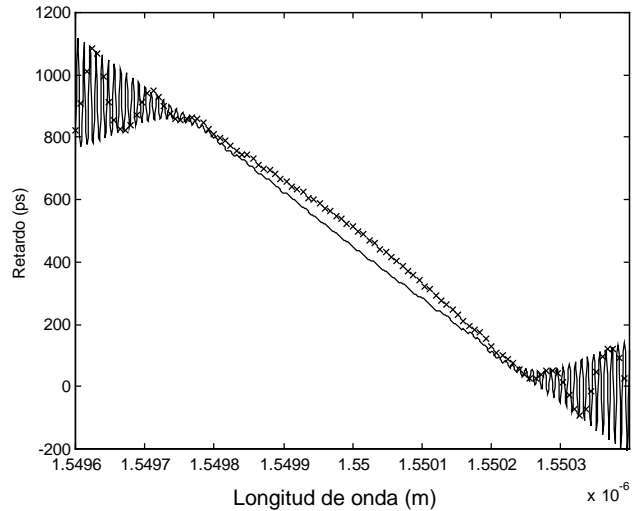


Figura 2. Retardo de tiempo del filtro para $m=0$ (trazo continuo) y $m=1$ (trazo discontinuo).

4. REFERENCIAS

- [1] G.Meltz, W.W.Morey, W.H.Glen, "Formation of bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method" *Opt.Letters.*, vol.14, no15, pp.823-825, 1989
- [2] W.H.Loh, M.J.Cole, M.N.Zervas, S.Barcelos, R.I.Laming "Complex grating structures with uniform phase masks based on the moving fiber scanning technique" *Opt.Letters*, vol.20, no.20, pp. 2051-2053, 1995
- [3] V.Mizrahi, J.E.Sipe "Optical properties of photosensitive fiber bragg gratings" *J.Lightwave Tech.*, vol. 11, no. 10, 1993
- [4] D.Pastor, J.Capmany, D.Ortega, V.Tatay, J.Martí "Design of apodized linearly chirped Bragg gratings for dispersion compensation" *J.Lightwave Tech.* Vol.14, no. 11, 1996
- [5] T.Erdogan, "Fiber grating spectra" *J.Lightwave Tech.* vol.15, no.8, 1997
- [6] F. Ouellette., "All-fiber filter for efficient dispersion compensation", *Opt.Lett.*, vol16, no. 5, pp. 303-305, 1991.
- [7] D.Benito, M.J.Erro, M.A.Gomez, M.J.Garde, M.A.Muriel, "Emulated single-mode fiber optic link by use of a linearly chirped fiber bragg grating" *J.Selected Topics in Quantum Elec.*, vol. 5, no.5, 1999
- [8] M.Yamada, K.Sakuda, "Analysis of almost-periodic distributed feedback slab waveguides via a fundamental matrix approach" *Applied Optics*, vol. 26, no. 16.