



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.  
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۱-۳-۲۵۰-۱۰-A

## طراحی توری فیبر براگ اپودایز شده چیرپ شده

احسان ادیب‌نیا<sup>۱\*</sup>، محمدعلی منصورى بیرجندى<sup>۲</sup>

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان<sup>۱,۲</sup>

ehsan.adibnia@gmail.com<sup>1,\*</sup> mansouri@ece.usb.ac.ir<sup>2</sup>

چکیده - در این مقاله، با استفاده از معادلات مد جفت شده، رفتار توری فیبر براگ بررسی و ساختار طراحی شده توری فیبر براگ یکنواخت مبتنی بر روش ماتریس انتشار شبیه‌سازی می‌شود. راهکارهای بهبود مشخصات توری فیبر براگ، از جمله تغییر طول توری، چیرپ کردن و اپودایز کردن توسط توابع کسینوسی، کسینوسی برآمده و تانژانت هذلولی، بررسی شده است. با بکارگیری این راهکارها، توری فیبر براگ اپودایز شده و چیرپ شده، شبیه‌سازی شده و طیف توان بازتاب آن ارائه شده است. در این توری، بدون کاهش بازتابندگی و پهنای باند، قدرت لبه کناری آن حدود ۷۵ درصد نسبت به توری یکنواخت کاهش یافته است. این افزاره که با طول بهینه طراحی شده است، دارای بازتابندگی ۱۰۰ درصد، قدرت لبه کناری  $10^{-3}$  درصد و پهنای باند ۰/۲۹۸ نانومتر است. از این رو می‌تواند در توسعه بسیاری از سیستم‌های ارتباطی، فیلترها و حسگرها به کار گرفته شود.

کلید واژه- اپودایز، بازتابندگی، توری فیبر براگ، چیرپ

## Design of Chirped Apodized Fiber Bragg Grating

Ehsan Adibnia<sup>1,\*</sup>, Mohammad Ali Mansouri-Birjandi<sup>2</sup>

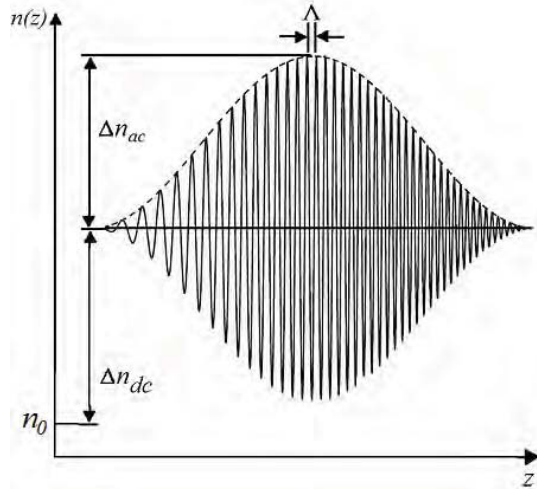
Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan<sup>1,2</sup>

ehsan.adibnia@gmail.com<sup>1,\*</sup> mansouri@ece.usb.ac.ir<sup>2</sup>

**Abstract-** In this paper, a uniform Fiber Bragg Grating (FBG) have been simulated by using the coupled differential equations and the transfer matrix method. Different approaches for improving FBG characteristics such as changing length, chirping and apodization have been studied. The Cosine, Raised-Cosine and Tanh functions have been used to apodization. Finally, considering the advantages and disadvantages of these approaches, a chirped apodized fiber Bragg grating with Raised-Cosine apodization profile has been simulated and designed. In this type of FBG, without reducing reflectivity, in comparison to the uniform FBG, the sidelobe-strength has been reduced around the ranges of 75%. This FBG, which has an optimized design in length, has a maximum reflectivity of 100%, a very low sidelobe-strength of  $10^{-3}\%$  and a suitable bandwidth of 0.298nm. The presented FBG has the potentiality to be applied in communication systems such as filters and sensors.

Keywords: Apodization, Chirp, Fiber Bragg Grating, Reflectivity

که در آن  $n_0$  ضریب شکست در هسته فیبر،  $A(z)$  تابع اپودایز،  $\Delta n_{ac}$  تغییرات ضریب شکست در توری،  $\Delta n_{dc}$  میانگین تغییرات ضریب شکست و  $\theta$  دوره تناوب چیرپ است.



شکل ۱: توزیع ضریب شکست در توری فیبر براگ اپودایز شده چیرپ شده

با استفاده از تئوری مد جفت شده، بازتابندگی در یک توری فیبر براگ با دامنه مدولاسیون و دوره تناوب ثابت، به صورت زیر است [۹]:

$$R(L, \lambda) = \frac{\kappa^2 \sinh^2(sL)}{\Delta\beta^2 \sinh^2(sL) + s^2 \cosh^2(sL)} \quad (3)$$

که در آن  $R$  بازتابندگی توری،  $L$  طول توری،  $\kappa$  ثابت جفت‌شدگی،  $\Delta\beta$  تغییرات بردار موج و پارامتر  $s$  معادل  $(\kappa_2 - \Delta\beta_2)^{1/2}$  است.

دوره تناوب در توری فیبر براگ چیرپ شده، تابعی از مکان است. دوره تناوب در توری فیبر براگ چیرپ شده، به صورت زیر است:

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 + \alpha \left( \frac{z}{L} - 0.5 \right) \quad (4)$$

## مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از توری فیبر براگ به علت مزایایی نظیر عدم اختلال الکترومغناطیسی، ابعاد و وزن کم، افزایش یافته است [۱]. تاکنون با تحقیق و بررسی پارامترهای مؤثر در طیف بازتاب توری [۲]، سعی شده است تا با ارائه راهکارهای نوین، توری‌هایی با دقت و عملکرد بهینه طراحی شود [۳]. علی‌رغم پیشرفت‌های صورت گرفته در این حوزه، توری فیبر براگ با محدودیت‌هایی نظیر بازتابندگی کم، قدرت لبه کناری زیاد و پهنای باند نامطلوب مواجه است. بنابراین تلاش جهت بهبود عملکرد این توری می‌تواند در هزینه و زمان صرفه‌جویی کند و دقت و سرعت را افزایش دهد. امروزه، کاربردهای این توری بسیار وسیع است و تنها در حوزه تولید حسگر می‌توان از حسگر کشش [۴]، رطوبت [۵]، فشار [۶]، میدان مغناطیسی [۷] و جابه‌جایی [۸] نام برد.

## تئوری و مدل‌سازی

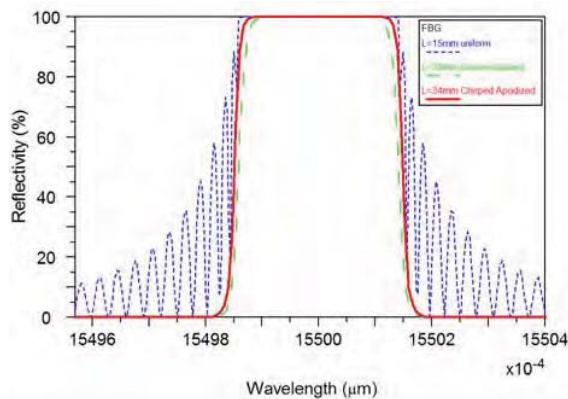
در این مدل، تئوری مد جفت شده استفاده شده است و روش ماتریس انتشار برای حل معادلات مد جفت شده به کار رفته است. معادلات تئوری جفت شده برای محاسبه میدان‌های خروجی یک قسمت کوچک، استفاده شده است که تقریباً هر قسمت به صورت توری یکنواخت رفتار می‌کند. در یک توری فیبر براگ، نور به طور مؤثر در شرایط براگ بازتاب می‌شود [۹]:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

که در آن  $\lambda_B$  طول موج براگ،  $n_{eff}$  ضریب شکست مؤثر و  $\Lambda$  دوره تناوب توری است. توزیع ضریب شکست نشان داده شده در شکل ۱ به صورت زیر بیان می‌شود [۹]:

$$n(z) = n_0 + \Delta n_{dc}(z) + A(z)\Delta n_{ac}(z) \cos((2\pi/\Lambda)z + \theta(z)) \quad (2)$$

از راهکارهای کاهش قدرت لبه کناری، اپودایز کردن توری فیبر براگ است [۱۰]. به این منظور اثر اپودایز کردن به وسیله‌ی توابع کسینوسی، کسینوسی برآمده و تانژانت هذلولی بررسی شده است، همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید با اعمال این توابع، قدرت لبه کناری به طور چشمگیری کاهش یافته است. البته توری‌های اپودایز شده نسبت به توری یکنواخت، پهنای باند کمتری دارند. مقایسه طیف بازتاب توری‌های اپودایز شده با این توابع، نشان می‌دهد که تابع کسینوسی برآمده بیشترین تاثیر را در کاهش قدرت لبه کناری دارد. پهنای باند کاهش یافته در اثر افزایش طول و اپوداز کردن، را می‌توان به وسیله چیرپ کردن دوره تناوب توری، جبران کرد. از پیامدهای چیرپ کردن، کاهش بازتابندگی است. بنابراین همواره برای دستیابی به مشخصات مطلوب، نیازمند مصالحه بین آنها خواهیم بود. نتیجه‌ی این مصالحه برای توری فیبر براگ شبیه‌سازی شده، در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید با استفاده از توری فیبر براگ ۳۴ میلی‌متری اپودایز شده با تابع کسینوسی برآمده و چیرپ شده، مشخصات مطلوب بدست آمده است. به طوری که با حفظ حداکثر بازتابندگی، قدرت لبه کناری به حداقل رسیده و از کاهش پهنای باند نیز جلوگیری شده است.



شکل ۳: طیف توان بازتاب توری فیبر براگ چیرپ شده و اپودایز شده با تابع کسینوسی برآمده در طول ۳۴ میلی‌متر

### نتیجه‌گیری

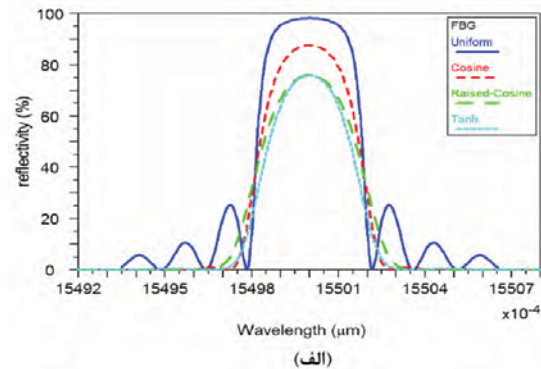
در این پژوهش، شبیه‌سازی توری فیبر براگ مبتنی بر ماتریس انتشار صورت گرفته است و روش‌های مختلف بهبود مشخصات توری، بررسی شده است. با

که در این رابطه،  $\alpha$  ضریب چیرپ و  $\Lambda_0$  دوره تناوب نامی (دوره تناوب در وسط توری) است.

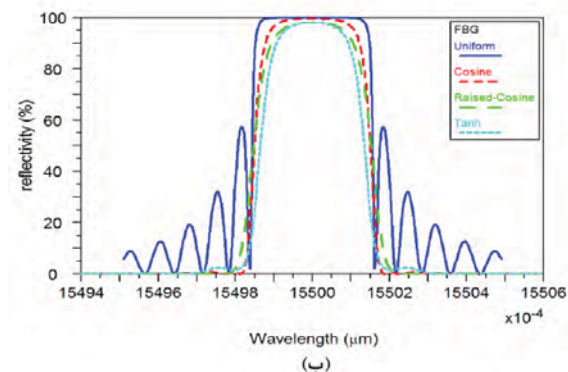
### شبیه‌سازی و بررسی توری فیبر براگ

برای بررسی روش‌های بهبود عملکرد، یک توری با دوره تناوب ۰/۵ میکرومتر با ضریب شکست هسته ۱/۴۵ شبیه‌سازی شده است و طول موج فضای آزاد ۱۵۵۰ نانومتر در نظر گرفته شده است. سپس تکنیک‌هایی نظیر اپودایز کردن و چیرپ کردن، در این توری بررسی می‌شود.

دستیابی به حداکثر بازتابندگی از اولویت‌های طراحی و شبیه‌سازی توری است. از بررسی طیف بازتاب توری‌های شبیه‌سازی شده که در شکل ۲ نشان داده شده است، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با افزایش طول توری، میزان بازتاب افزایش می‌یابد اما علاوه بر آن، پهنای باند کاهش و قدرت لبه کناری نیز افزایش می‌یابد.



(الف)



(ب)

شکل ۲: طیف بازتاب توری فیبر براگ یکنواخت و اپودایز شده (الف) در طول ۵ میلی‌متر (ب) در طول ۱۰ میلی‌متر

- [4] I. C. Song, S. K. Lee, S. H. Jeong and B. H. Lee, "Absolute Strain Measurements Made with Fiber Bragg Grating Sensors", *Appl. Opt.*, Vol. 43, No. 6, pp. 1337-1341, 2004.
- [5] A. Zrelli, M. Bouyahi, T. Ezzedine, "Simultaneous monitoring of humidity and strain based on Bragg sensor", *Optik*, Vol. 127, No.18, pp. 7326-7331, 2016.
- [6] L. Schenato, Q. Rong, Z. Shao, X. Quiao, A. Pasuto, A. Galtarossa, and L. Palmieri, "Highly Sensitive FBG Pressure Sensor Based on a 3D-Printed Transducer", *OSA Journal of Lightwave Technology*, Vol. 37, No. 18, pp. 4784-4790, 2019.
- [7] C. Ambrosino, P. Capoluongo, S. Campopiano, A. Cutolo, M. Giordano, D. Davino, C. Visone, and A. Cusano, "Fiber Bragg grating and magnetic shape memory alloy: Novel high-sensitivity magnetic Sensor", *IEEE sensors journal*, Vol. 7, No. 2, pp. 228-229, 2007.
- [8] J. Lv, Z. Hu, G. Ren, C. Zhang, Y. Liu, "Research on new FBG displacement sensor and its application in Beijing Daxing Airport project", *Optik*, Vol. 178, pp. 146-155, 2019.
- [9] A. M. Nazmi, A. A. Taha and H. A. Moustafa, "Evaluation and performance enhancement for accurate FBG temperature sensor measurement with different apodization profiles in single and quasi-distributed DWDM systems", *Optics and Lasers in Engineering*, Vol. 55, pp. 22-34, 2014.
- [10] H. Zhang, "A novel method of optimal apodization selection for chirped fiber Bragg gratings", *Optik*, Vol. 125, No. 5, pp. 1646-1649, 2014.

توجه به اثرات منفی روش‌های استفاده شده، سعی شده است تمام مشخصات توری، بهبود یابد و تنها به یک مشخصه اکتفا نشود. توری فیبر براگ شبیه‌سازی شده که از تابع کسینوسی برآمده برای اپودایز کردن آن استفاده شده است، نسبت به دیگر توری‌های ارائه شده، دارای کمترین قدرت لبه کناری (۰/۰۰۱ درصد)، حداکثر بازتابندگی (۱۰۰ درصد) و پهنای باند ۰/۲۹۸ نانومتر است و می‌تواند در توسعه سیستم‌های ارتباطی استفاده شود. همچنین این مشخصات در کمترین طول ممکن، یعنی ۳۴ میلی‌متر بدست آمده است که باعث صرفه اقتصادی خواهد شد.

### مرجع‌ها

- [1] H. Fu, W. Zhang, C. Mou, X. Shu, L. Zhang, S. He, I. Bennion, "High-Frequency Fiber Bragg Grating Sensing Interrogation System Using Sagnac-Loop-Based", *IEEE photonics technology letters*, Vol. 21, No. 8, 2009.
- [2] A. A. Taha, I. S. Mohamed, and A. M. Nazmi, "Design and performance investigation of a highly accurate apodized fiber Bragg grating-based strain sensor in single and quasi-distributed systems", *Appl. Opt.*, Vol. 54, No. 16, pp. 5243-5251, 2015.
- [3] J. Chen, T. Liu and H. Jiang, "Optimal design of multichannel fiber Bragg grating filters using Pareto multi-objective optimization algorithm", *Optics Communications*, Vol. 358, pp. 59-64, 2016.