بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی و ساخت دستگاه کنترل‌کننده قطبش فیبری مکانیکی ۳- صفحه‌ای

محمد جواد یحیی پور قهفرخی[۱]، حمیدرضا بهزادی بروجنی[۲]، مهدی داوودی[۲] و شریفه شاهی[۲]

[۱] شرکت صنایع الکترواپتیک صاایران اصفهان، اصفهان

[۲] گروه پژوهشی الکترواپتیک، دانشکده علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر

چکیده - در این پژوهش اصول حاکم برخاصیت دو شکستی، خواص و پارامترهای اپتومکانیکی موثر بر این پدیده در فیبرنوری بیان می شود. سپس روابط مربوط به دست یابی دقیق تفاوت انتشار مدی در فیبر دوشکستی و شعاع حلقه ها که منجر به محاسبه تعداد دور فیبر و دیگر پارامترهای دستگاه می شود حاصل می گردد. در نهایت کنترل کننده قطبش فیبری مکانیکی ۳ صفحه ای طراحی وساخته شده، معرفی می شود .

کلید واژه- دو شکستی، صفحات موج، کنترل کننده قطبش.

Design and Fabrication of a 3-Plate Mechanical Fiber Polarization Controller

Mohammad Javad YahyaPour Ghahfarrokhi[1], Hamidreza Behzadi Boroojeni[2], Mahdi Davodi[2] and Sharifeh Shahi[2]

[1]Isfahan Optics Industries, Isfahan

[2]Research Electroptics Group, Malek-e-Ashtar University ,ShahinShahr

Abstract- In this research, the governing principles on birefringence properties and effective optomechanical parameters upon this phenomenon is expressed in fiber. Then, the precise relationships between modal propagation difference in the birefringence fiber and loops radius leading to achieve the number of fiber rings and other system's parameters. Finally, the mechanical fiber polarization controller was designed and manufactured three-plate, is expressed.

Keywords: Birefringence, Polarization controller, Waveplate

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

۱- مقدمه

فیبرنوری با توجه به ساختار بلوری مواد سازنده، در اثر اعمال تنش ورودی کنترل‌شده، از خود خواص اپتومکانیکی خاص بروز می‌دهد[1]. تنش‌های وارده به فیبرنوری به صورت تنش عرضی، خمشی و پیچشی تعریف می‌شوند. در ابتدا قصد ما مطالعه و شناخت مبانی نظری این رفتار فیبرنوری در مواجهه با تنش‌های نامبرده است. این خواص اپتومکانیکی ناشی از تغییر شکل در ساختار بلور، برخواص و رفتارهای فیبرنوری تاثیر گذاشته، باعث پدیده‌ی دوشکستی غیرذاتی در فیبر می‌شود[2]. اثرات الاستواپتیکی در فیبر، پارامتر بیان کننده رفتارهای تنش عرضی، خمشی، پیچشی و ایجاد خاصیت دوشکستی در فیبرهای تک مد است. هنگامی که فیبر پیرامون یک محور چرخیده می‌شود، به دلیل خمش، چرخش معینی در صفحه قطبش فیبر به اندازه α به وقوع می پیوندد که به صورت زیر داده می شود[3] .

$$\alpha = g'\varepsilon_{\circ} = \frac{-RC\varepsilon_{\circ}}{n_c} \qquad (۱)$$

در این معادله، شاخص‌های g' ضریب چرخش الاستواپتیکی، ε_0 نرخ پذیرفتاری چرخش، n_c ضریب شکست هسته فیبرنوری، R ضریب سختی ماده و C ضریب تنش اپتیکی تعریف می‌شوند. شاخص‌های معادله تابع طول موج هستند و پراکندگی ضریب تنش اپتیکی به صورت تابعی از طول موج تعریف می‌شود. ضریب تنش اپتیکی C دارای رابطه دیفرانسیلی با $\delta\beta$ است، که تفاوت انتشار مدها را در ناحیه فیبرنوری دوشکستی بیان می‌کند. علامت منفی موجود در معادله نشان از پادساعتگرد بودن افزایش چرخش صفحه قطبش است[4].

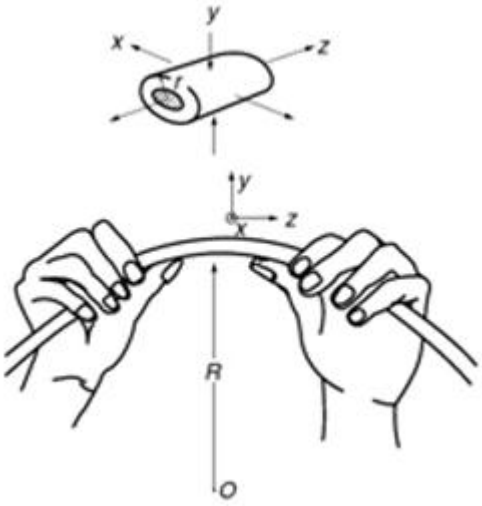
برای بیان روابط الکترومغناطیسی حاکم بر فیبرنوری و توضیح رفتار قطبش در آن، نیاز به کار با بردارهای استوکس است، که به کمک آن‌ها در فیبرنوری رابطه معنی‌دار و ساده شده‌ای برای تفاوت انتشار مدها در ناحیه فیبر دوشکستی به دست می‌آید[5]:

$$\Delta n_y - \Delta n_x = -0.0439 n^3 \left(\frac{r}{R}\right) \qquad (۲)$$

که در آن R شعاع خمش، r شعاع غلاف فیبرنوری، n_x ضریب شکست در راستای محور x فیبرنوری، n_y ضریب شکست در راستای محور y فیبرنوری، n ضریب شکست هسته فیبرنوری در حالت استراحت و $\Delta\beta$ تفاوت انتشار مدی در دو راستای مختلف است و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\Delta\beta = k_{\circ}(n + \Delta n_x) + k_{\circ}(n + \Delta n_y) \qquad (۳)$$

$k_{\circ}$ به عنوان ضریب انتشار فضای آزاد معرفی می‌گردد.



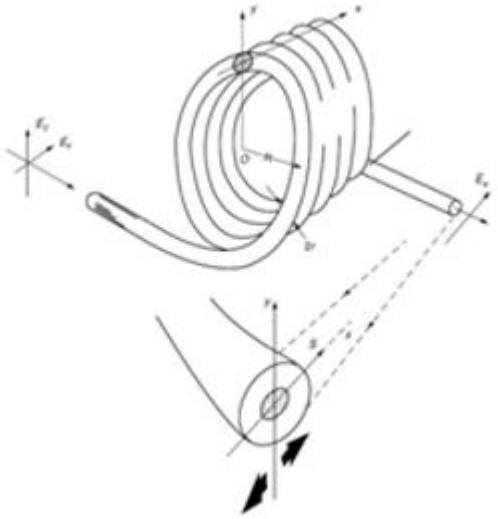
شکل ۱: فیبرنوری تک مد در راستای z خمش یافته، خاصیت دوشکستی پیدا کرده است.

در شکل۳ یک فیبرحلقه‌ای با تعداد دور دلخواه مشخص شده است. با توجه به شعاع حلقه R می‌توان تعداد دور لازم N برای رسیدن به تفاوت انتشار مدی دلخواه $\Delta\beta$ (قطبش) را به دست آورد:

$$\Delta\varphi = 2\pi RN \cdot \Delta\beta \qquad (۴)$$

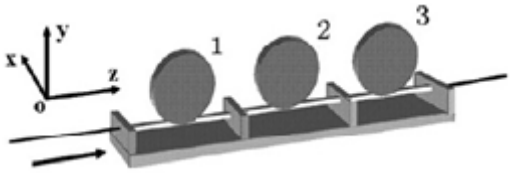
در شرایطی که $\Delta\varphi$ برابر $\pi/2$ باشد، حلقه‌ی نیم موج ساخته می شود و اگر $\Delta\varphi$ برابر $\pi/4$ باشد، حلقه ربع موج ساخته می‌شود. مشخصه‌های شعاع حلقه R ، تعداد دور N و تفاوت انتشار مدی در دو راستای مختلف $\Delta\beta$ ناشی از دوشکستی تعیین کننده رفتار حلقه‌های فیبرنوری هستند[6] .

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]



شکل 2: فیبرنوری حلقه شده برای ساخت صفحه های موج.

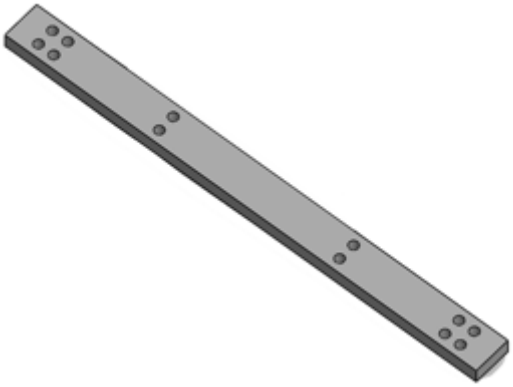
در حالت معمول دستگاه کنترل قطبش فیبری ۳- صفحه ای با چیدمان صفحه های ربع موج – نیم موج – ربع موج مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳: طرحواره کلی کنترل کننده قطبش فیبری ۳ – صفحه ای.

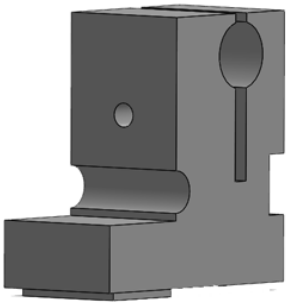
۲- طراحی و ساخت دستگاه

ابتدا نقشه ی کنترل کننده قطبش فیبری ۳ – صفحه ای محصول تجاری شرکت Thorlabs آمریکا مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس ابعاد محصول تجاری اقدام به باز طراحی دستگاه با نرم افزار SolidWorks کردیم. طرح پیاده شده با طرح محصول تجاری شرکت Thorlabs متفاوت است و سعی در به حداقل رساندن برش ها و سوراخ کاری ها شده است. دستگاه طراحی شده از ۵ قطعه اصلی تشکیل شده است و قسمت پایه یا نگهدارنده از جنس آلومینیوم به طول ۳۲۰ میلی متر، عرض ۳۰ میلی متر و ضخامت ۱۰ میلی متر ساخته شده است. ۱۲ سوراخ با شعاع های ۵ میلی متر برای نصب نگهدارنده ی صفحات در نگهدارنده ایجاد شد.



شکل ۴: پایه یا نگهدارنده دستگاه

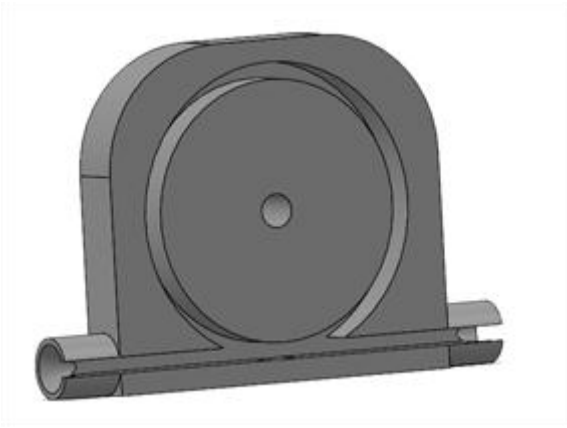
قطعه دوم ستون های دستگاه هستند که ۴ ستون یک شکل با طول و عرض ۳۰ میلی متر و ضخامت ۱۰ میلی متر بر اساس طراحی برش زده، بر روی پایه نصب شدند.



شکل ۵: ستون های نگهدارنده ی دستگاه.

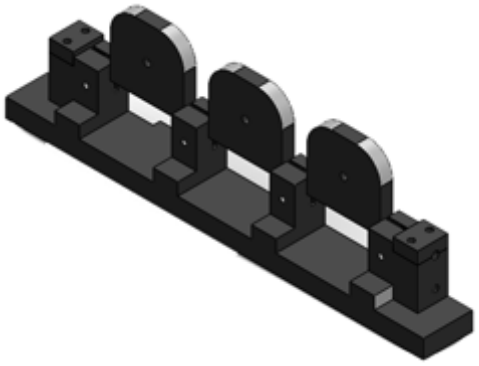
قطعه سوم و چهارم نگهدارنده و درپوش پیچ شونده فیبر است که در دو انتهای دستگاه به عنوان نگهدارنده فیبر نوری عمل می کنند. طول و عرض این قطعات ۳۰ میلی متر و ضخامت آن ها ۱۰ میلی متر است. قطعه پنجم صفحه نگهدارنده فیبرنوری به همراه شیار است که با توجه به طول قرار گیری فیبر در شیار صفحه به عنوان صفحه موج عمل می کند. به دلیل رفتار های خاص حرارتی و موجود نبودن ماده ی مورد استفاده در محصولات صنعتی در داخل کشور، صفحه های موج را از نوعی تفلون سخت که دارای ضریب افزایش طولی بر حسب دمای بسیار کم و ناچیز است استفاده نمودیم.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]



شکل ۶: صفحات موج طراحی شده

پس از تکمیل طراحی محصول و بهینه سازی های ابعادی و محاسباتی، طرحواره کلی دستگاه طراحی شده حاصل شد(شکل ۷).



شکل ۷: طراحی کامل دستگاه کنترل کننده قطبش

فیبرنوری مورد استفاده در دستگاه کنترل کننده قطبش فیبری از نوع SMF-28 بوده، از اتصالگرهای FC با بوت ۳ میلی متری با سایش PC استفاده شده است. اتلاف اتصالگرها کمتر از 0.16 dB گزارش می شود.



شکل ۸: دستگاه کنترل‌کننده قطبش فیبری مکانیکی ۳- صفحه ای ساخته شده.

۳- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش طراحی و ساخت یک مولفه بسیارکاربردی در مباحث مرتبط با فیبرنوری و ادوات تمام نوری-فوتونیکی مانند لیزرهای فیبری، مخابرات نوری، رمزنگاری کوانتومی و ... بوده است. کنترل کننده قطبش فیبری مکانیکی با کنترل قطبش نور تاثیر زیادی بر عملکرد و کیفیت دقیق ترخروجی دستگاههای حساس به قطبش نور می گذارد. با وجود عملکرد وطراحی ساده، این دستگاه تا کنون در کشور تولید نشده است و نمونه ی آزمایشگاهی تولیدی آن کمتر از ۰/۱ نمونه ی خارجی هزینه در بردارد.

مراجع

[1] Ghatak, A. and K. Thyagarajan, *Introduction to Fiber Optics*, Cambridge University Press, New York (1998).

[2] Theocaris, P. S, and E. E. Gdoutos, *Matrix Theory of Photoelasticity*, SpringerVerlag, Berlin–Heidelberg (1979).

[3] Shurcliff, W. A., *Polarized Light: Production and Use*, Harvard University Press,Cambridge, MA (1962).

[4] Collett, E., *Field Guide to Polarization*, SPIE Press, Bellingham, WA (2005).

[5] Theocaris, P. S, and E. E. Gdoutos, *Matrix Theory of Photoelasticity*, SpringerVerlag, Berlin–Heidelberg (1979).

[6] Goldstein, D., *Polarized Light*, 2nd ed., Marcel Dekker, New York (2003).

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]