بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

تأثیر دما بر روی فیلترنوری کوک‌پذیر مبتنی بر قطبش نور و دوشکستی فیبر در یک تشدیدگر حلقوی نور

سعیده قاسم زاده[۱] و فرامرز اسمعیلی سراجی[۲]
[۱]گروه فیزیک و فوتونیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ماهان، کرمان
[۲]گروه مخابرات نوری، مرکز تحقیقات مخابرات ایران (پژوهشگاه)، تهران

چکیده–در این مقاله با استفاده از یک تشدیدگر حلقوی نوری، قطبش نور و دوشکستی فیبر نوری یک فیلتر نوری با پهنای باند باریک مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته شده است. از آنجا که افزایش دما، موجب تغییرات در ضریب شکست و طول فیبر نوری می‌شود، تأثیر تغییرات دما بر روی خروجی این فیلتر نوری مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از نتایج شبیه سازی مشاهده می‌شود که با افزایش دما، طول موج تشدید فیلتر نوری به سمت طول موج‌های بالاتر جابه‌جا می‌شود و علاوه بر آن شدت خروجی نیز تغییر می‌یابد. نشان داده شده که به ازای هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد تغییر در دمای فیلتر، طول موج تشدید فیلتر در حدود ۰/۱ میکرومتر افزایش می‌یابد.

کلید واژه – اثرات ترمو-اپتیکی، تشدیدگر حلقوی نوری، کوک پذیری.

کد PACS – 060.0060

Temperature Effect on Optical Filter Based on Fiber-Optic Resonator Using Polarization and Birefringence Effects in the Resonator Loop

Saeede Gasemzade[1] , Faramarz. E Seraji [2]
[1]Department of Physics and Photonic Graduated University of Advanced Technology Mahan, Kerman
[2]Optical Communication Group Iran Telecom Research Center

Abstract - This paper presents an analysis of optical filter based on fiber-optic ring resonator using polarization and birefringence effects in the resonator loop. The temperature variations, which affect the refractive index and radius of the ring, would cause a change in the filter response. The simulation results show that the resonant wavelengths would shift toward longer wavelengths and output intensity changes with increasing temperature. It is shown that for every 10 deg C change in temperature, would cause the resonance wavelength to increase by 0.1 μm.

Keywords: fiber-optic resonator, optical filter, Thermo-optic tuning, Tunability.

PACS No.: 060.0060

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱-مقدمه

فیلترهای نوری که امروزه در سیستم‌های فیبرنوری مورد استفاده قرارمی‌گیرند، بر اساس روش‌های مختلفی مثل حلقه تشدیدگر نوری و حلقه ساگناک، فیبر پراشنده نوری، استفاده ازآرایه موجبر پراشنده و یا استفاده از فیبر تداخلی لایه نازک و.غیره طراحی می‌شوند. کوک کردن این فیلترهای نوری نیز از عنصرهای مهمی که مخصوصاً در سیستم های مخابرات نوری WDM که فاصله بین کانال‌ها کم‌تر از ۵۰ گیگاهرتز است، باید مورد توجه قرار بگیرند.

در این مقاله فیلترنوری که مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است، از یک تشدیدگرحلقوی نوری ساخته شده که در فیبرنوری آن دوشکستی [۱] ایجاد شده است. امروزه از تشدیدگرهای حلقوی نوری برای کاربردهای مختلفی مثل طراحی حسگرهای قطبش‌پذیر، بیوسنسورها، ادوات جبران‌ساز پاشش نوری، سوییچ‌های نوری و.دیگر کاربردها استفاده می‌شوند. روشی که قبلاً برای کوک کردن این فیلتر به کاربرده شده، با استفاده از تغییر ضریب جفت شدگی نور، استفاده از حلقه ساگناک برای ایجاد جابه جایی فاز، کوک شدگی با استفاده از دوشکستی فیبر و قطبش نور بوده است. حال می‌خواهیم تأثیر گرما را بر روی این فیلترنوری [۱] بررسی کرده و کوک‌پذیری آن‌را با استفاده از گرما مورد تجزیه و تحلیل قرار بدهیم.

۲-مبانی نظری

در یک تشدیدگر حلقوی نوری، هرگونه تغییری که بر روی ساختار و پارامتر حلقه ایجاد شود، مثل تغییر در شعاع حلقه و ضریب شکست مؤثر، باعث می‌شود که طول موج تشدید تغییر بکند. یکی از مهم‌ترین علت‌هایی که باعث تغییر در شعاع حلقه و ضریب شکست مؤثر فیبر می‌شود، تغییرات دمای محیط است. البته پارامتری که بیش‌تر تحت تأثیر دما تغییر پیدا می‌کند، ضریب شکست مؤثر فیبر است. تغییر در طول موج تشدیدگر حلقوی فیبرنوری در اثر تغییرات ضریب شکست مؤثر، به‌وسیله رابطه زیر بیان می‌شود [۲]:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}=\left|\frac{\Delta n_{eff}}{n_{group}}\right| \qquad (۱)$$

برای توجیه رابطه بالا، یک موجبر با سطح مقطع معین و با ثابت انتشار β در نظر می‌گیریم. فرض می‌کنیم این موجبر حامل موجی با بسامد ω تحت تأثیر یک عامل بیرونی مانند q مثل تغییرات دمای محیط قرار بگیرد. وقتی خروجی فیلتر را مورد بررسی قرار می‌دهیم، دو درجه آزادی (q,ω) باید در نظرگرفته شود. اول q را یک تغییر جزیی می‌دهیم، در نتیجه ثابت انتشار β به اندازه $\delta\beta_q$ تغییر می‌کند و بسامد تشدید دیگر ω_o نیست.. برای برگرداندن مقدار β به حالت اولیه، بسامد را تغییر می‌دهیم تا به شرایط تشدید دست بیابیم که به دنبال آن تغییر در β به مقدار $\delta\beta_\omega$ است. بسامد به‌دست آمده جدید، بسامد کوک شده تلقی می‌شود. بنابراین به‌طورکلی داریم:

$$\beta\rightarrow\beta+\delta\beta_q\rightarrow\beta+\delta\beta_q+\delta\beta_\omega=\beta$$

در نتیجه داریم: $\delta\beta_q+\delta\beta_\omega=0$. بنابراین با جایگذاری پارامترها داریم:

$$\frac{\omega}{c}\frac{\partial n_{eff}}{\partial q}\Delta q+\frac{n_g}{c}\Delta\omega=0 \qquad (۲)$$

اگر این عامل بیرونی q در اثر تغییرات دما باشد، خواهیم داشت:

$$\frac{\Delta\omega}{\omega}=\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=\frac{1}{n_g}\frac{\partial n_{eff}}{\partial T}\Delta T \qquad (۳)$$

چون ضریب شکست مغزی و غلاف فیبر با هم فرق می‌کند، رابطه (۳) به‌صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\Delta\lambda}{\Delta T}=\left|\frac{\lambda}{n_g}\left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial n_{co}}\frac{\partial n_{co}}{\partial T}+\frac{\partial n_{eff}}{\partial n_{cl}}\frac{\partial n_{cl}}{\partial T}\right)\right| \qquad (۴)$$

که در آن $(\lambda/n_g)(\partial n_{eff}/\partial n_{co})$ و $(\lambda/n_g)(\partial n_{eff}/\partial n_{cl})$ ضریب‌های وزنی هستند که مقدار توان در ناحیه‌های مربوطه را تعیین می‌کنند. این ضریب‌ها برای هر یک از ناحیه های مورد نظر به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\Gamma=\frac{n_g}{n_A}\frac{\iint_A \varepsilon|E|^2\,dxdy}{\iint_\infty \varepsilon|E|^2\,dxdy} \qquad (۵)$$

که در آن ε ضریب دی‌الکتریک محیط و n_g ضریب شکست گروه و n_A ناحیه‌ای از ضریب شکست است که نور در آن نفوذ کرده است. در نتیجه تغییرات ضریب شکست مغزی و غلاف نسبت به تغییرات دما به‌صورت زیر تغییر می‌کند:

$$\begin{aligned}\Delta n_{co}&=\Gamma_{co}\left(n_{co}+\frac{dn_{co}}{dT}(T-T_0)\right)\\ \Delta n_{cl}&=\Gamma_{cl}\left(n_{cl}+\frac{dn_{cl}}{dT}(T-T_0)\right)\end{aligned} \qquad (۶)$$

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

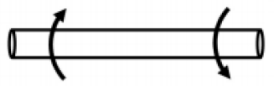
که Γ_{cl} ، Γ_{co} و n_{cl} ، n_{co} به‌ترتیب ضریب‌های وزنی و ضریب شکست‌های غلاف و مغزی، dn_{cl}/dT و dn_{co}/dT ضریب ترمو-اپتیکی مربوطه هستند. T_0 دمای مرجع می‌باشد که در محاسبات ما برابر ۲۰ درجه سانتی‌گراد در نظرگرفته شده است.

برای محاسبه ضریب ترمو-اپتیکی فیبر از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که از این میان تداخل‌سنجی یکی از این روش‌هاست [۳]. اگر فرض کنیم غلاف فیبر فقط از سیلیکای خالص و مغزی فیبر[۳] با۱۵مول GeO_2 و SiO_2 ترکیب شده باشد، مقدار ضریب‌های ترمو-اپتیکی مغزی و غلاف فیبر به‌ترتیب ۱/۲۴ و ۱/۰۶ خواهد شد.

نمودار تشدیدگر حلقوی فیبرنوری در شکل (۳) نشان داده شده که در آن نور ورودی با یک قطبش مشخص وارد جفتگر نوری می‌شود. با پیچاندن فیبر در صفحه xy توسط چرخاننده قطبش[1] PR موجود در حلقه تشدیدگر، یک دوشکستی دایروی در فیبر ایجاد می‌شود. بنابراین، در حلقه تشدیدگر دو نوع دوشکستی ایجاد می‌شود: یکی دوشکستی خطی ناشی از خمش و دیگری دوشکستی دایروی ناشی از پیچش است. این دوشکستی به‌ترتیب اختلاف فاز φ_c و φ_1 را در نور ورودی به حلقه تشدیدگر به‌وجود می‌آورند که اختلاف فاز کل به‌صورت زیر بیان می‌شود [۴]:

$$\Delta\varphi = \sqrt{\varphi_c^2 + \left(\frac{\varphi_1}{2}\right)^2} \qquad (۷)$$

φ_c که در اثر پیچش مطابق شکل(۱) در فیبر، موجب دوشکستی دایروی می‌شود، به صورت رابطه (۸) بیان می‌شود:



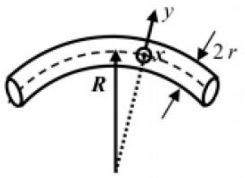
شکل ۱: پیچش در فیبر که موجب دوشکستی دایروی در فیبر می‌شود.

$$\varphi_c = \frac{n^2}{2(p_{11} - p_{12})}\delta \qquad (۸)$$

که در رابطه بالا n ضریب شکست مغزی فیبر، p_{11}, p_{12} مؤلفه‌های تانسوری نوری تنش و δ نرخ پیچش می‌باشد.

[1] Polarisation rotator (PR)

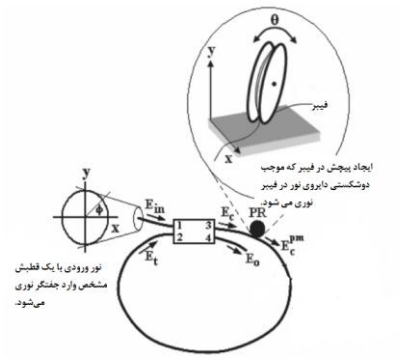
φ_1 اختلاف فازی بود که به دلیل خمش در فیبر نوری مطابق با شکل (۲) بوجود می‌آید، به صورت رابطه (۹) محاسبه می‌شود:



شکل ۲:خمش در فیبر نوری که منجر به دوشکستی خطی می‌شود.

$$\varphi_1 = \frac{\pi n^3}{2\lambda}(1+\nu)(p_{11} - p_{12})\left(\frac{r}{R}\right)^2 \qquad (۹)$$

دررابطه بالا n ضریب شکست مغزی فیبر، p_{11}, p_{12} مؤلفه‌های تانسوری تنش که به ترتیب برابر ۰/۲۷ و ۰/۱۶۴و ν ثابت پواسون برابر ۰/۱۶۴ می‌باشند. R,r به ترتیب شعاع فیبر و شعاع خمش است.



شکل ۳: تشدیدگر حلقوی فیبرنوری مورد مطالعه [۱].

مؤلفه‌های x و y میدان‌های الکتریکی بهنجار بعد از PR به‌ترتیب به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\frac{E_{tx}}{E_{in}} = \frac{N_x}{D_x}$$
$$\frac{E_{ty}}{E_{in}} = \frac{N_y}{D_y} \qquad (۹)$$

که در آن به‌ترتیب برای پارامترهای N_x ، D_x ، N_y و D_y داریم:

$$N_x = -\left[1 + i\sqrt{\alpha k}e^{-i\omega\tau}\left(\cos\Delta\varphi - i\frac{\varphi_1}{2}\frac{\sin\Delta\varphi}{\Delta\varphi}\right)\right]$$
$$\left(\frac{E_{ty}}{E_{in}}\right) + i\alpha\sqrt{k(1-k)}e^{-2i\omega\tau}\left(\varphi_c\frac{\sin\Delta\varphi}{\Delta\varphi}\right)^2$$
$$D_x = i\sqrt{\alpha k}e^{-i\omega\tau}\varphi_c\frac{\sin\Delta\varphi}{\Delta\varphi}$$

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

$$N_y = \left[\frac{\varphi_1\varphi_c}{2}\left(\frac{\sin\Delta\varphi}{\Delta\varphi}\right)^2\right]\times$$
$$\left[e^{-i\omega\tau}\sqrt{\alpha}\left(\sqrt{k}+\sqrt{1-k}\left(\frac{\varphi_c\sin\Delta\varphi}{\Delta\varphi}\right)\right)-\alpha\sqrt{k(1-k)}e^{-2i\omega\tau}\right]$$
$$D_y = 1+2i\sqrt{\alpha k}e^{-i\omega\tau}\cos\Delta\varphi$$
$$-\alpha k e^{-2i\omega\tau}\left[\cos^2\Delta\varphi+\frac{\varphi_1^2}{4}\frac{\sin^2\Delta\varphi}{\Delta\varphi^2}\right]$$

در رابطه‌های بالا k و α به‌ترتیب ضریب جفت شدگی جفتگر نوری و ضریب انتقال فیبرنوری در حلقه هستند.

این دو میدان الکتریکی پس از عبور از حلقه در خروجی بهنجار فیلتر به‌صورت زیر دریافت می‌شوند:

$$\frac{E_{ox}}{E_{in}} = -i\sqrt{k}+\sqrt{1-k}\frac{E_{tx}}{E_{in}} \qquad (۱۰)$$

$$\frac{E_{oy}}{E_{in}} = \sqrt{1-k}\frac{E_{ty}}{E_{in}} \qquad (۱۱)$$

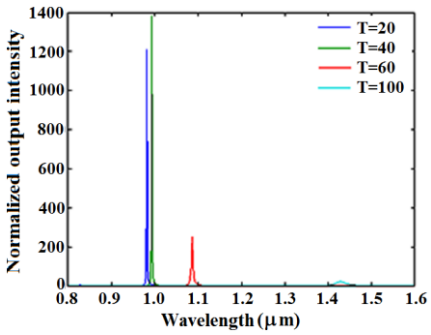
که در آن $\tau = (\Delta n_{eff}/c)L$ زمان تأخیر حلقه تشدیدگر با طول L و Δn_{eff} اختلاف بین ضریب شکست مؤثر مغزی و غلاف است. طول فیبر نیز در اثر گرما افزایش می‌یابد.

ضریب انبساط طولی فیبر برابر با $\frac{1}{L}\frac{dL}{dT} = 2\times10^{-6}/^{o}C$ است که به‌صورت تجربی اندازه‌گیری شده است [۵].

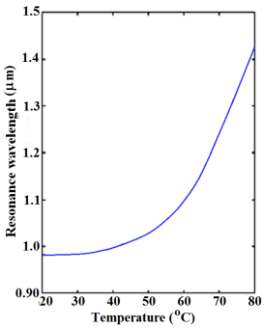
حال تأثیر گرما را با توجه به رابطه‌های (۴)، (۵) و (۶) در خروجی فیلتر مطابق با رابطه‌های (۱۰) و (۱۱) وارد می‌کنیم.

درمحاسبات شعاع حلقه تشدیدگر را ۱۵ میکرومتر انتخاب می‌کنیم و فرض می‌کنیم که فیبر به اندازه ۴۵ درجه پیچانده شده باشد.

همان‌طور که در شکل (۴) دیده می‌شود، با افزایش دما طول موج تشدید فیلتر به سمت طول موج‌های بلندتر جابه‌جا می‌شود. در شکل (۵) جابه‌جایی طول موج تشدید در دماهای مختلف ۲۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد با گام ۱۰ درجه نشان داده شده است.



شکل۴: نمودار بهنجار خروجی فیلتر برای دماهای مختلف از ۲۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد.



شکل (۵): اثر دما بر طول موج تشدید.

۳-نتیجه‌گیری

در این مقاله رفتار فیلتر نوری با تأثیر پذیری تغییرات دما با استفاده از نرم افزار MATLAB مورد تحلیل قرار گرفته است. در مخابرات نوری افزایش دما از دو جهت مورد توجه قرار گرفته است. مورد اول این است که از این گزینه می‌توان برای کوک کردن فیلتر نوری مورد استفاده قرار داد. از سوی دیگر وقتی هدف کوک کردن نباشد، مشاهده می‌شود که خروجی فیلتر با دمای محیط تغییر پیدا می‌کند که در عمل این امر مطلوب نیست.

در تحلیل نشان داده شده که به ازای هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد تغییر دمای فیلتر، در حدود ۰/۱ میکرومتر طول موج تشدید افزایش می‌یابد.

مراجع

[1] F. E Seraji, F. Asghari and A. Yekrangi Sendi, "*Tunability of optical filter based on fiber-optic ring resonator using polarization and birefringence effect in the resonator loop*", Ukr. J. Phys. Opt., Vol. 11, pp. 185-192, 2010.

[2] M. Popovic, "*Theory and Design of High-Index-Contrast Microphotonic Circuit*, Ph.D. Thesis, Massuchusetts Institute of Technol., Cambridge. 2008.

[3] Y. J. Kim, U. C. Paek, B. H. Lee, "*Measurement of refractive-index variation with temperature by use of long-period fiber grating*". Opt. Lett., Vol. 27, pp. 1297-1299, 2002.

[4] Alan Roger, *Polarisation in optical fiber*, Artech House, 2008.

[5] Y. Okada and Y. Tokumaru, "*Precise determination of lattice parameter and thermal expansion coefficient of silicon between 300 and 1500 K*", J. Appl. Phys., Vol. 56, pp. 314-320, 1984.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]