بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

حسگر فیبر نوری ثبت تغییرات دما برپایه تداخل‌سنج ماخ-زندر

فاطمه محمدی[۱]، رحمان نوروزی[۲]

دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، صندوق پستی ۱۱۵۹-۴۵۱۹۵، زنجان، ایران

چکیده - امروزه ا ستفاده از فیبر نوری در صنایع گوناگون تو سعه‌ی چ شمگیری یافته ا ست. انتقال حجم بالایی از اطلاعات در زمان بسیار کوتاه جز با استفاده از فیبر نوری امکان پذیر نیست. یکی از کاربردهای مهم فیبر نوری استفاده از آن در ساخت حسگرهاست؛ یعنی انتقال مزایای پر شمار فیبر به صنعت ساخت ابزار دقیق ا ست. یکی از کمیات فیزیکی مهم دما ا ست . ساخت ح سگرهای دمایی که بتوانند در دماهای ب سیار بالا ، بدون اختلال با دقت و سرعت زیاد، دما را اندازه گیری نمایند؛ یکی از اهداف پژوه شگران ا ست. در این مقاله ساخت ح سگر فیبر نوری ثبت تغییرات دما با ا ستفاده از فیبر نوری تک مد، گزارش شده ا ست. این ح سگر بر پایه‌ی تداخل سنج ماخ-زندر که بر مبنای مدولاسیون فاز عمل می کند؛ ساخته شده است. در این پژوهش از چیدمان تداخل سنجی برای بالا بردن دقت و از فیبر نوری برای افزایش سرعت انتقال داده ها و سادگی طراحی استفاده شده است. سرعت ثبت تغییرات دما توسط این نمونه‌ی ساخته شده ۰,۵ ثانیه است.

کلید واژه- فیبر نوری، حسگر ثبت تغییرات دما، تداخل سنج ماخ-زندر.

Optical Fiber Sensor recording temperature changes based on Mach-Zehnder interferometer

Fatemeh Mohamadi , Rahman Nouroozi

Abstract-T**he use of fiber optics has grown dramatically in various industries. It is not possible to transmit high volumes of data in very short time, except using optical fiber. One of the important uses of optical fiber is its use in sensor manufacturing. In fact, the use of optical fiber in the manufacture of sensors, the transfer of numerous fiber benefits to the instrument industry. One of the important physical temperatures is temperature. Finally, the optical fiber temperature sensor has been reported using single-mode fiber optics. This sensor is based on the Mach-Zander interferometer, which operates based on phase modulation. in this study, method has been used which is a very accurate and simple method for measurement. also, to increase the speed of data transmission and simplicity of design of fiber fiber. The temperature measurement speed of this sample is 0.5 s.**

Keywords: ***optical Fiber*** **,** recording temperature changes ***Sensor, Mach-Zander Interferometer.***

F.mohamadi@iasbs.ac.ir[۱]
Rahman.nouroozi@iasbs.ac.ir[۲]

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

۱- مقدمه

حسگرهای فیبر نوری از قطعاتی ساخته شده اند که عملکرد این قطعات بر اساس مزایا و ویژگی‌های منحصربفرد فیبر نوری است. حسگرهای فیبر نوری براساس فرایند مدولاسیون به چهار دسته تقسیم بندی می شوند. مدولاسیون فاز، قطبش، شدت، طیف نوری. در این پژوهش مدولاسیون فازی حسگر فیبر نوری مورد بررسی قرار گرفته است. حسگرهای فیبر نوری برای اندازه‌گیری و سنجش کمیت‌های مختلف فیزیکی همچون دما، فشار، میدان مغناطیسی و میدان الکتریکی، ولتاژ، شدت میدان، جریان الکتریکی، غلظت مواد شیمیایی و ضریب شکست مواد مختلف کاربرد دارند. دما یکی از عام‌ترین و مهم‌ترین کمیات مورد اندازه‌گیری در علوم آزمایشگاهی، صنعت، پزشکی و حتی امورات روزمره است. انواع مختلفی از دماسنج‌ها متناسب با کاربری خاص جهت اندازه گیری دما طراحی و ساخته می‌شوند. امروزه به علت پیشرفت روزافزون صنایع و علوم مختلف، نیاز به اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی با دقت و سرعت بالا، مورد توجه و نیاز قرار گرفته است. دما یکی از مهمترین پارامترها در کنترل یک فرآیند فیزیکی و یا شیمیایی است. اندازه‌گیری دقیق دما کار آسانی نیست و برای دستیابی به اندازه گیری تغییرات دمایی با دقت‌های بالاتر از ۰/۵ درجه سانتیگراد، باید علاوه بر توجه زیاد به هنگام ثبت تغییرات دمایی، بایستی ابزارها و حسگرهای با کارایی خاص طراحی نموده و ساخته شوند. از طرفی حسگرهای دمایی رایج در بازه‌های دمایی خاصی کارایی قابل قبول دارند. چرا که اغلب از قطعاتی ساخته شده‌اند که دارای نقطه‌ی کار هستند و نقطه‌ی کار آنها نیز به دما بستگی دارد. بنابراین در حین اندازه‌گیری دماهای بالا، قطعات خود حسگر نیز از این دمای بالا متأثر می‌شوند که در نتیجه‌ی آن دقت اندازه‌گیری و یا سرعت آن و یا هر دوی آنها کاهش می یابند. [۱]

در حالی که حسگرهای دمایی که با فیبر نوری ساخته می شوند ؛ در دماهای بسیار بالا نیز کارایی بسیار خوبی دارند. به همین منظور استفاده از حسگرهای دمای فیبر نوری که امکان اندازه‌گیری دما را با سرعت و دقت زیاد، فراهم نموده‌اند، در صنعت ابزار دقیق جایگاه ویژه‌ای دارند. [۲]

در این مقاله، طراحی و ساخت حسگر دمای فیبر نوری به منظور ثبت تغییرات دما با زمان حساسیت ۰/۵ ثانیه گزارش شده است. چیدمان این حسگر، بر پایه‌ی تداخل‌سنج ماخ-زندر است. مزیت دیگر حسگر معرفی شده و تداخل سنج اشاره شده، سادگی در طراحی و سهولت در کارکرد با آن می باشد.

۲- طراحی و ساخت حسگر

۲ -۱ طراحی حسگر

در این مقاله از چیدمان تداخل سنج ماخ -زندر که علاوه بر حساسیت و دقت بالا، از سادگی بسیار زیاد نیز برخوردار است؛ استفاده شده است. یک جفتگر نوری ۲×۱ به منبع نوری که نور لیزر با طول موج ۱۵۵۰ نانومتر است؛ متصل می‌شود. جفتگر نوری دوم مشابه حالت قبل به جفتگر نوری اول متصل می‌شود و سر آزاد آن به آشکارساز متصل می شود. این دو جفتگر با هم دو بازوی تداخل سنج را ایجاد می کنند.

در این تداخل سنج رابطه‌ی اختلاف فاز دو بازوی تداخل‌سنج ماخ ـ زندر از رابطه‌ی زیر به دست می آید:

$$\varphi = \beta L = ۲\frac{\pi n_{eff}}{\lambda} \qquad (۱)$$

که در آن، β ثابت انتشار، n_{eff} ضریب شکست مؤثر فیبر، λ طول موج نور ورودی و L طول فیبر نوری است. تغییرات دمایی اعمال شده بر روی کابل فیبر نوری منجر به تغییراتی در طول، قطر و ضریب شکست فیبر نوری می شود، که تأثیر دما بر روی طول فیبر و قطر آن نیز بدین صورت است:

$$L = L_{\circ}\alpha\Delta\mathrm{T} \qquad (۲)$$

$$D = D_{\circ}\alpha\Delta\mathrm{T} \qquad (۳)$$

در روابط بالا، $L_{\circ}$ طول اولیه، $D_{\circ}$ قطر اولیه، α ضریب انبساط حرارتی و ΔT مقدار تغییرات دما است. مقدار α برای سیلیکا $۵\times۱۰^{(-۷)}$ بر درجه‌ی سانتیگراد است.

تاثیر دما بر مقدار ضریب شکست فیبر از رابطه ای موسوم به رابطه‌ی زلمایر دمایی محاسبه می‌شود.[۳]

$$n^2 = A + \frac{B}{1-\frac{C}{\lambda^2}} + \frac{D}{1-\frac{E}{\lambda^2}} \qquad (۴)$$

در این معادله، n ضریب شکست فیبر و A، B، C و D توابع خطی بر حسب دما هستند و E مقدار ثابتی دارد. در این رابطه λ طول موج نور بر حسب میکرومتر است. آزمایش های انجام شده در این پژوهش در بازه دمایی ۲۰ تا ۶۰ درجه‌ی سانتیگراد صورت گرفته است؛ بنابراین مقدار این کمیات تقریبا ثابت بوده و تابع دما نیست. بدین ترتیب در این بازه دمایی، رابطه زلمایر بدین صورت است:

$$n_T = n_R + (T-R)\frac{dn}{dT} \qquad (۵)$$

در این معادله، n_T ضریب شکست فیبر نوری در دمای T و n_R

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

ضریب شکست آن در دمای اتاق و $\frac{dn}{dT}$ که تغییرات ضریب شکست بر حسب تغییرات دما می باشد برای فیبری از جنس سیلیکا، (۵-)۱۰× ۵ ۱/۰بر درجه‌ی سانتیگراد است.[۳]

اما اثرات ترمو اپتیکی که منجر به تغییرات ضریب شکست می‌شود، بر اثرات انبساط دمایی که منجر به افزایش طول و قطر فیبر می‌شود، غلبه دارد. چون مقدار α تقریبا یک‌صدم $\frac{dn}{dT}$ است، در محاسبات انجام شده حاصل از نتایج آزمایشگاهی از تأثیر افزایش طول و قطر فیبر چشمپوشی می‌کنیم. بنابراین داریم:

$$I = 2I_0(1 + \cos\Delta\varphi) \qquad (۶)$$

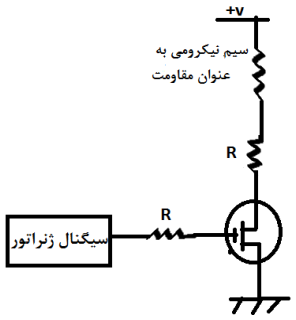
۲-۲ ساخت حسگر

در این مرحله برای آزمایش حسگر از چیدمان زیر استفاده می‌کنیم؛ منبع نورلیزر، منبع تغذیه، سیگنال ژنراتور، تداخل‌سنج و مدار الکتریکی، اسیلوسکوپ و فوتودیود به عنوان آشکارساز.



شکل۱. چیدمان آزمایش حسگر . تداخل سنج و مدار الکتریکی در داخل محفظه می‌باشد.

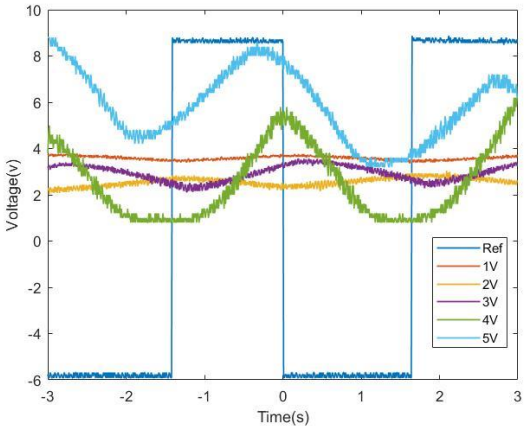
برای تولید حرارت کنترل‌شده و قابل تنظیم از مدار الکتریکی استفاده می‌کنیم. در بخشی از مدار از یک قطعه سیم نیکرومی به عنوان مقاومت حرارتی به طول ۷ سانتی‌متر استفاده شده است. بخشی از روکش‌های فیبر نوری را در بازوی سنجش تداخل‌سنج برداشته و به سیم نیکرومی می‌چسبانیم. این بخش از فیبر به عنوان حسگر عمل می‌کند.



شکل۲. مدار تولید کننده‌ی حرارت. سیم بدون روکش نیکرومی در آن به عنوان مقاومت حرارتی عمل می‌کند و به بخش بدون روکش فیبر متصل می‌شود. همچنین از دو مقاومت ۴۷ اهمی نیز در مدار استفاده شده است.

ابتدا با استفاده از سیگنال‌ژنراتور موج مربعی به مدار اعمال می‌کنیم. دوره تناوب این موج برابر ۰/۵ هرتز است. این موج، موج مرجع در سنجش تداخلی دو بازوی تداخل‌سنج است. در اثر اعمال ولتاژ به مدار و عبور جریان از آن، کم‌کم سیم نیکرومی گرم شده و بخشی از حرارت به فیبرنوری در بازوی سنجش تداخل‌سنج انتقال می یابد. حرارت، ضریب شکست فیبر را تغییر می‌دهد و بین دو بازو، اختلاف فاز ایجاد می‌شود. در هر گام افزایش ولتاژ، نتایج حاصل از تداخل که در کانال دوم اسیلوسکوپ، قابل مشاهده است را ذخیره می‌کنیم. این داده‌ها به صورت فایل اکسل هستند.

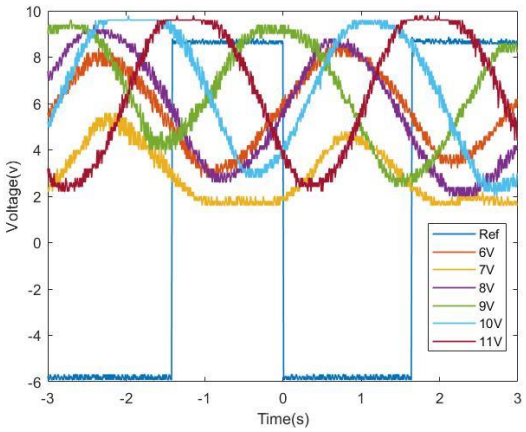
نتایج حاصل از رسم ولتاژهای اعمال شده بر حسب زمان و مقایسه‌ی آنها با موج مربعی مرجع در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است.



شکل۳. نمودار اعمال ولتاژ به مدار تولید حرارت. نمودار موج مربعی آبی رنگ، مربوط به ولتاژ اعمالی به بازوی مرجع تداخل‌سنج است. در نمودارهای حاصل از تداخل، برای وضوح بیشتر از ضریب تقویت ۱۰ استفاده شده است.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]



شکل۴. نمودار اعمال ولتاژ به مدار تولید حرارت. نمودار موج مربعی آبی رنگ، مربوط به ولتاژ اعمالی به بازوی مرجع تداخل‌سنج است. در نمودارهای حاصل از تداخل، برای وضوح بیشتر از ضریب تقویت ۱۰ استفاده شده است.

از طرفی میدانیم که دما دارای طیف پیوسته‌ای است و به طور آنی صفر یا بیشینه نمی‌شود. اما همچنان که از نمودارها مشخص است، در اثر اعمال ولتاژ و تولید حرارت، حسگر به خوبی اثرات قطع و وصل ولتاژ سیگنال‌ژنراتور را نشان می‌دهد و به خوبی این آهنگ را دنبال می‌نماید. در ولتاژهای بالا این هماهنگی بسیار مشخص‌تر است. حتی زمانی‌که ۱ ولت، ولتاژ به مدار اعمال می‌کنیم با اینکه حرارت تولید شده بسیار ناچیز است، باز هم حسگر به خوبی آهنگ قطع و وصل ولتاژ سیگنال‌ژنراتور را نشان می‌دهد.

۳- نتیجه‌گیری

در این پایان نامه حسگر تغییرات دمایی با فیبر نوری تک مد، طراحی شد و مورد آزمایش قرار گرفت. در آزمایش های انجام شده، نتایج قابل قبولی از ثبت تغییرات دمایی توسط آشکارساز به دست آمد. سرعت حسگر برای احساس تغییرات دمایی ۰/۵ ثانیه است و حساسیت بسیار بالایی دارد. بنابراین برای مقاصدی که آشکارسازی تغییرات دما مهم است، این حسگر گزینه‌ی بسیار مناسبی است. همچنین با ارتقای شیوه‌ی ایزولاسیون بخش حساس به دمای حسگر، میتوان از آن در آزمایش‌های دیگر برای سنجش تغییرات دمایی استفاده نمود.

مراجع

[1] Bahaa E. A. Saleh; Malvin carl Teich, , *Fundamentals of photonics*,Medison,Wisconsin,1991.
[2] Krohn, David A, MacDougall, Trevor, and Mendez, Alexis. *Fiber optic sensors: fundamentals and applications*. Spie Press Bellingham, WA, 2014.
[3] Ghosh, Gorachand, Endo, Michiyuki, and Iwasaki, Takashi. Temperaturedependent sellmeier coefficients and chromatic dispersions for some optical fiber glasses. *Journal of Lightwave Technology*, 12(8):1338–1342, 1994.
[4] Tripathi, Saurabh Mani, Kumar, Arun, Varshney, Ravi K, Kumar, Y Bala Pavan, Marin, Emmanuel, and Meunier, Jean-Pierre. Strain and temperature sensing characteristics of single-mode–multimode–single-mode structures. *Journal of Lightwave Technology*, 27(13):2348–2356, 2009.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

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