اولین کنفرانس ملی حسگرهای فیبرنوری- ۶ آبان ۱۴۰۰
ICOFS 2021
1st Iranian Conference on Optical Fiber Sensors
October 28, 2021
پژوهشکده لیزر و پلاسما

طراحی و ساخت حسگر دمایی توزیعی فیبر نوری مبتنی بر اثر رامان

سید علی اصغرعسکری[۱،*]، مجتبی ارجمند[۱]، لاله رحیمی‌نژاد[۱]، مرتضی مظفری[۲]

[۱] پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، شاهین‌شهر
[۲] گروه پژوهشی الکترونیک و ابزار دقیق، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

چکیده: اندازه‌گیری و پایش برخط دمایی ادوات و سازه‌ها در بسیاری از موارد از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از روش‌های مناسب به‌منظور اندازه‌گیری دمای سازه‌های بزرگ استفاده از فناوری حسگرهای توزیعی فیبر نوری مبتنی بر اثر غیرخطی رامان است. در این مقاله گزارش ساخت یک نمونه حسگر توزیعی رامان فیبر نوری ارایه شده است. حسگر ساخته شده قادر به پایش دمایی در طول ۱۰ کیلومتر، با دقت دمایی ۱ درجه سانتی‌گراد و دقت مکانی ۱/۵ متر می‌باشد. این حسگر اطلاعات دمایی را پس از پردازش داده‌های استوکس و پاداستوکس و هر ۳ دقیقه در اختیار کاربر قرار می‌دهد. ضمن اینکه اعلام اخطار درصورت افزایش دما از مقدار از پیش تعیین شده و تاریخچه دمایی سازه مورد پایش نیز برای آن طراحی و اجرا شده است.

کلید واژگان: حسگر توزیعی رامان، حسگر دما، حسگر فیبر نوری.

Design and manufacturing of a fiber optic distributed temperature sensor based on Raman effect

Ali Asghar Askari[1], Mojtaba Arjomand[1], Lale Rahiminejad[1], Morteza Mozafari[2]

1 Faculty of applied science, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran.

2 Niroo Research Institue, Tehran, Iran.

Abstract- Real-time temperature measurement and monitoring of devices and structures is very important in many cases. One of the suitable methods to measure the temperature of large structures is the use of optical fiber distribution sensor technology based on Raman nonlinear effect. In this paper, a fiber optic Raman distribution sensor is designed and built. The built-in sensor is capable of monitoring temperature over 10 km, with a temperature accuracy of 1 ° C and a spatial accuracy of 1.5 m. This sensor provides temperature profile to the user every 3 minutes after processing of Raman stokes and anti-stokes signals. In addition, the warning alarm and the temperature history of the monitored structure is also designed and implemented for it.

Keywords: Distributed Raman sensor; Temperature sensor; fiber optic sensor.

* aliaskari@mut-es.ac.ir

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-27]

۱- مقدمه

اندازه‌گیری و پایش مستمر دمای سازه‌هایی مانند سدها، لوله‌های انتقال نفت و گاز، چاهای نفت و گاز و کابل‌های دفنی و هوایی انتقال برق از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. فناوری حسگرهای توزیعی فیبر نوری روشی است که در سال‌های اخیر برای این منظور بسیار مورد توجه بوده است[۲-۱]. حسگرهای توزیعی مبتنی بر اثر غیرخطی بریلوئن قادر به اندازه‌گیری دما و کرنش هستند در حالیکه حسگرهای مبتنی بر اثر غیرخطی رامان که دارای پیچیده‌گی کمتر و ارزان‌تر هستند، اطلاعات دمایی را دراختیار قرار می‌دهند.

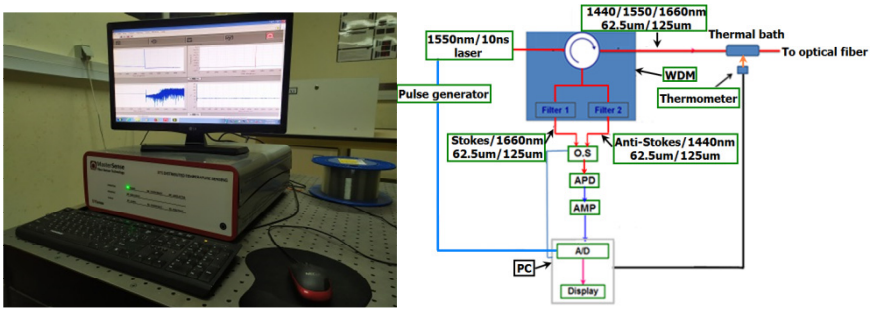
در این مقاله گزارش طراحی، ساخت و تست یک نمونه مهندسی حسگر رامان فیبر نوری ارایه شده است. این حسگر قادر به اندازه‌گیری دما در طول ۱۰ کیلومتر است. حسگر طراحی شده دارای دقت دمایی ۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین این حسگر اطلاعات دمایی را با دقت مکانی ۱/۵ متر در اختیار کاربر قرار می‌دهد. رابط کاربری طراحی و پیاده‌سازی شده برای این حسگر، اطلاعات سیگنال‌های استوکس و پاداستوکس دریافتی، اطلاعات دمایی بر حسب مکان به‌صورت برخط، تاریخچه اطلاعات مکانی-زمانی دمای سازه و اعلان هشدار درصورت عبور دما از مقدار مجاز از پیش تعیین‌شده را ارایه می‌کند. حسگر ساخته شده مناسب برای استفاده در شناسایی نشتی در لوله‌های نفت و گاز و نقاط داغ در کابل‌های دفنی و یا اعلام حریق در تونل‌ها است.

۲- حسگر توزیعی رامان فیبر نوری

در شکل ۱ چیدمان حسگر توزیعی رامان فیبر نوری ساخته شده نشان داده شده است. پالس‌های نوری تولید شده لیزر با پهنای زمانی ۵ تا ۲۰ نانوثانیه در طول‌موج ۱۵۵۰ نانومتر از طریق یک تقسیم‌گر طول‌موجی (WDM) به فیبر نوری چند مدی، تزریق می‌شود. پالس نوری در حین انتقال در فیبر و با برهمکنشی که با محیط فیبر انجام می‌دهد، سیگنال‌های استوکس و پاداستوکس رامان را به‌ترتیب در طول‌موج‌های ۱۶۶۰ و ۱۴۴۰ نانومتر تولید می‌نماید. بخشی از این سیگنال‌ها به سمت عقب پس‌پراکنده می‌شوند. این سیگنال‌ها از طریق تقسیم‌کننده طول‌موجی دریافت و جداسازی می‌شوند. سیگنال‌های استوکس و پاداستوکس جداشده از همدیگر از طریق یک کلید نوری(OS) برای آشکارسازی به آشکارساز (APD) ارسال می‌شوند. آشکارساز از نوع فوتودایود بهمنی و از جنس InGaAs می‌باشد. سیگنال الکتریکی در خروجی آشکارساز پس از یک تقویت مناسب، برای نمونه‌برداری به کارت نمونه‌بردار (A/D) ارسال می‌شود. برای نمونه‌برداری مناسب، کارت نمونه‌بردار با پالس‌های لیزر همزمان شده است. پس از نمونه‌برداری و تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال فرایند پردازش داده‌ها انجام می‌شود. سیگنال‌های رامان دریافتی بسیار ضعیف هستند و نسبت سیگنال به نویز بسیار پایین است. در این سیستم فرایندهای پردازش متنوعی اعم از حذف آفست، متوسط‌گیری زمانی، متوسط‌گیری میانه و کاهش نویز موجکی استفاده شده است. به‌منظور دستیابی به داده‌های دمایی لازم است که فرایند کالیبراسیون انجام شود. برای این منظور یک ترمومتر در محفظه تعبیه شده و اطلاعات دمایی یک پیچه فیبر نوری را اندازه‌گیری می‌کند. این اطلاعات دمایی برای انجام فرایند کالیبراسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سیستم‌های متداول بطور معمول از دو آشکارساز و یک کارت نمونه‌بردار دوکاناله استفاده می‌شود[۴-۳]. در سیستم ساخته شده با بکارگیری یک کلید نوری از یک آشکارساز و یک کارت نمونه‌بردار تک‌کاناله استفاده شده است. فرایند کلیدزنی پس از دریافت سیگنال استوکس به‌منظور دریافت سیگنال پاداستوکس و بلعکس انجام می‌شود. این روش هرچند مدت زمان دریافت سیگنال جهت ارایه اطلاعات دمایی را افزایش می‌دهد، با این حال اثر تفاوت رفتار آشکارسازهای مختلف را حذف نموده و قیمت تمام شده را نیز تا حد بسیار زیادی کاهش می‌دهد.

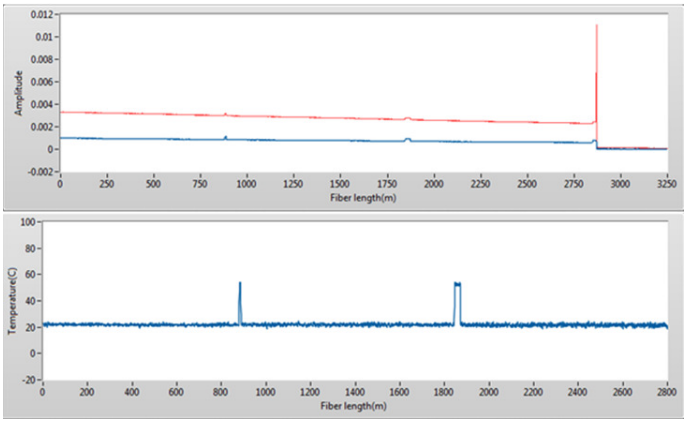
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-27]



شکل ۱: چیدمان حسگر دمایی رامان فیبر نوری (چپ) و سیستم حسگری ساخته شده (راست).

به‌منظور بررسی عملکرد حسگر ساخته شده، تست‌های دمایی متنوعی با این سیستم انجام شده است. پیچه‌هایی در فواصل مکانی مختلف و با طول‌های مختلف تهیه و در حمام دمایی قرار داده شدند. نمونه‌ای از پروفایل دمایی که در آن دو پیچه در فواصل ۸۸۰ متری و ۱۸۶۰ متری با طول‌های ۷ و ۱۵ متر در حمام دمایی با دمای ۵۵ درجه‌سانتی‌گراد قرار داده‌شده‌اند، در شکل ۲ نشان داده شده است. در این آزمایش از ۳ کویل فیبر نوری ۱ کیلومتری استفاده شده است. پروفایل دمایی نشان می‌دهد که این حسگر به خوبی قادر به اندازه‌گیری دمای محیط اطرافش است.



شکل ۲: بخشی از پانل کاربری حسگر ساخته شده. بالا- سیگنال‌های دریافتی استوکس(قرمز) و پاداستوکس(آبی) از فیبری به طول ۳ کیلومتر که دو پیچه به طول‌های ۷ و ۱۸ متر در فواصل ۸۸۰ متر و ۱۸۶۰ متری در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته است. و ب-پروفایل دمایی این فیبر.

در این مقاله گزارش ساخت یک حسگر دمایی مبتنی بر اثر غیرخطی رامان ارایه شده است. این حسگر قادر به اندازه‌گیری پروفایل دمایی در فاصله‌ای به‌طول ۱۰ کیلومتر، دقت دمایی ۱ درجه سانتی‌گراد، دقت مکانی ۱/۵ متر و بازه دمایی ۲۰- تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است. افزایش بازه دمایی منوط به استفاده از فیبرهای با تحمل دمایی بالا است که تست‌های اولیه با فیبرهای نوری با روکش پلی‌ماید با تحمل ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد درحال انجام می‌باشد.

مراجع

1. Y. Liu *et. al*. **Sensors 20**(17) 4903, 2020.
2. Y. Xu *et. al*. **IEEE Sens. J 20**(14) 7870, (2020).
3. L. Jian *et. al*. **Opt. Express 27**(25) 36183, (2019).
4. L. Schenato**. Appl. Sci 7**(9) 896, (2017).

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-27]