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

اندازه‌گیری حساسیت جابجایی فرکانسی بریلوئن به دما با استفاده از روش آشکارسازی همدوس

سودابه نوری جویباری[۱]، مهدی موحدی[۲] و حمید لطیفی[۲]

[۱] گروه فیزیک دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، مازندران،

[۲] پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی،اوین، تهران.

چکیده – در این مقاله، جابجایی فرکانسی بریلوئن یک فیبر تک‌مد با استفاده از روش آشکارسازی همدوس اندازه‌گیری می‌شود. جهت کاهش فرکانس سیگنال زنش حاصله از آشکارسازی همدوس، به جای نور مرجع بعنوان نوسانگر محلی در آشکارسازی از یک لیزر بریلوئن پمپ شده توسط نور مرجع استفاده می‌شود. با استفاده از این روش، فرکانس سیگنال زنش از *GHz* ۱۱ به *GHz* ۱ کاهش داده خواهد شد. سپس تغییرات جابجایی فرکانسی بریلوئن با دما برای یک فیبر تک‌مد اندازه‌گیری می‌شود و حساسیت $MHz/^0C$ ۱/۰۵ بدست می‌آید.

کلید واژه- پراکندگی بریلوئن، آشکارسازی همدوس، فیبر نوری

Temperature Sensitivity Measurement of Brillouin Frequency Shift using Coherent Detection

Soodabeh Nouri Jouybari[1], Mahdi Movahedi[2], Hamid Latifi[2]

[1] Department of Physics, University of Mazandaran, Babolsar, Mazandaran,

[2] Laser & Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran.

Abstract- In this article, Brillouin frequency shift of a single mode fiber is measured using coherent detection technique. A reference light pumped Brillouin laser instead of reference light is used as local oscillator in coherent detection technique to decrease the beat signal frequency. As a result, the frequency of beat signal is decreased from 11GHz to 1GHz. Then, temperature effect on Brillouin frequency shift is measured and the sensitivity of 1.05 $MHz/^0C$ was obtained.

Keywords: Brillouin Scattering, Coherent Detection, Optical Fiber.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-21]

۱- مقدمه

پراکندگی بریلوئن یک اثر غیرخطی مهم در فیبرهای نوری می‌باشد[1] که کاربردهای زیادی در لیزرها [2]، تقویت کننده‌ها [3] و احساسگرهای توزیعی فیبری [4] دارد. احساسگرهای توزیعی فیبری قادر به اندازه‌گیری همزمان دما و کرنش در مسافتهای طولانی می‌باشند. عامل اصلی در استفاده از پراکندگی بریلوئن در احساسگرهای توزیعی، حساسیت طیف پراکندگی بریلوئن به پارامترهای محیطی نظیر دما و کرنش می‌باشد.

در این مقاله حساسیت پراکندگی بریلوئن برای یک فیبر تک مد به دمای محیط اطراف توسط روش آشکارسازی همدوس اندازه‌گیری شده است. در این روش از یک لیزر بریلوئن به عنوان نوسانگر محلی در روش آشکارسازی همدوس استفاده شده است که موجب کاهش هزینه مصرفی در روش آشکارسازی خواهد شد.

۲- تئوری

پراکندگی بریلوئن در اثر برهمکنش نور با امواج آکوستیک در فیبر نوری ایجاد می‌شود[5]. به خاطر رونده بودن امواج آکوستیک یک جابجایی فرکانسی بریلوئن برای موج نوری ایجاد می‌شود که بصورت زیر داده می‌شود[6]:

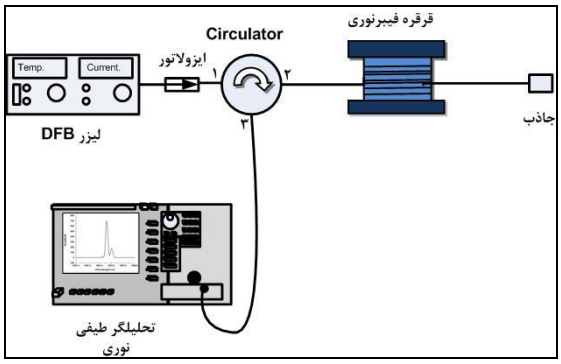
$$\upsilon_B = 2n_{eff}V_{eff} / \lambda \qquad (۱)$$

که در آن n_{eff}، V_{eff} و λ بترتیب ضریب شکست موثر موج نوری، سرعت آکوستیک موثر موج آکوستیک و طول موج نور می‌باشند. این جابجایی به پارامترهای خارجی نظیر دما و کرنش حساس است که مقدار آن برای فیبر نوری تک مد استاندارد برابر با $1.1\pm0.02MHz/^0k$ برای دما و $0.0483\pm0.0004MHz/\mu\varepsilon$ برای کرنش گزارش شده است[7]. از آنجایی که مقدار تغییرت جابجایی بر اثر پارامترهای خارجی کوچک است، روشهای مختلفی برای اندازه‌گیری آن بکار برده شده است. یک روش استاندارد، روش آشکارسازی همدوس است[8]. در این روش، بخشی از نور بعنوان نوسانگر محلی بکار می‌رود و مابقی وارد فیبر شده و پراکندگی بریلوئن برای آن اتفاق می‌افتد. نور پراکنده شده با نوسانگر محلی مجدد مخلوط شده و یک سیگنال زنش تولید می‌کند. از آنجایی که نور پراکنده شده به اندازه جابجایی فرکانسی بریلوئن نسبت به نور فرودی جابجا شده است، بنابراین فرکانس سیگنال زنش تولید شده برابر این فرکانس می‌باشد. برای فیبر تک مد استاندارد مقدار این جابجایی تقریبا برابر ۱۱GHz می‌باشد. بنابراین جهت آشکارسازی سیگنال زنش باید از یک آشکارساز با سرعت بالاتر از ۱۱GHz استفاده شود که موجب بالا رفتن هزینه‌ها خواهد شد. برای کاهش هزینه به جای استفاده از نور مرجع به عنوان نوسانگر محلی از خروجی لیزر بریلوئن پمپ شده توسط نور مرجع استفاده می‌شود[9]. در اینصورت می‌توان فرکانس زنش و در نتیجه فرکانس آشکارساز مورد نیاز را تا ۱GHz کاهش داد.

در این مقاله در ابتدا طیف پراکندگی بریلوئن برای یک فیبر با استفاده از تحلیلگر طیفی نوری بدست می‌آید. سپس لیزر بریلوئن فیبر تک مد ساخته و خروجی آن به عنوان نوسانگر محلی در آشکارسازی همدوس مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه حساسیت سیگنال زنش حاصله از آشکارسازی همدوس به تغییرات دمای اعمال شده به فیبر بدست می‌آید.

۳- شرح آزمایش و نتایج

جهت مشاهده پراکندگی بریلوئن در فیبرنوری از چیدمان شکل۱ استفاده شده است.

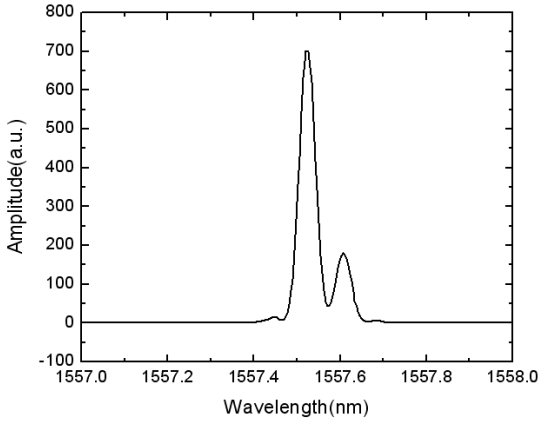


شکل۱: چیدمان مشاهده پراکندگی بریلوئن در فیبرنوری

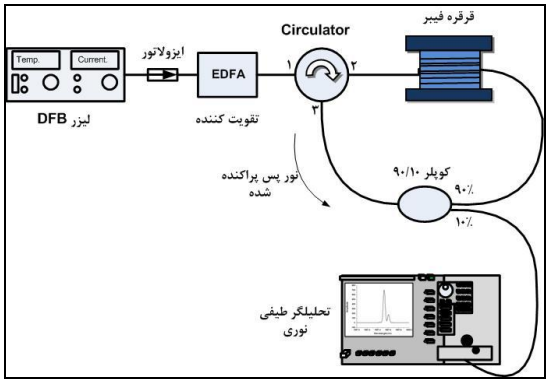
طول فیبرنوری در چیدمان شکل۱ برابر ۱۶کیلومتر انتخاب می‌شود. طیف حاصله روی دستگاه تحلیلگر طیفی برای جریان لیزر ۵۵ mA در شکل ۲ نشان داده شده است. فاصله قله‌های سمت راست و چپ طیف نسبت به قله مرکزی حدود ۰/۰۸ nm است که برابر با جابجایی فرکانسی بریلوئن برای فیبرنوری به کار رفته می‌باشد. جهت تولید لیزر بریلوئن از چیدمان شکل۳ استفاده شده است. در این چیدمان کوپلر ۱۰/۹۰ به کار رفته و طیف

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-21]

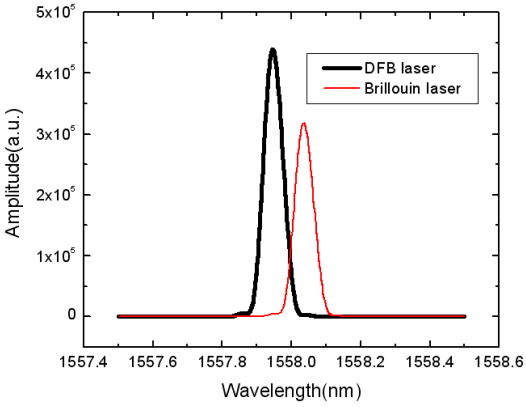
خروجی لیزر بریلوئن در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل۲:طیف حاصله برای جریان لیزرmA ۵۵ و طول فیبر ۱۶کیلومتر



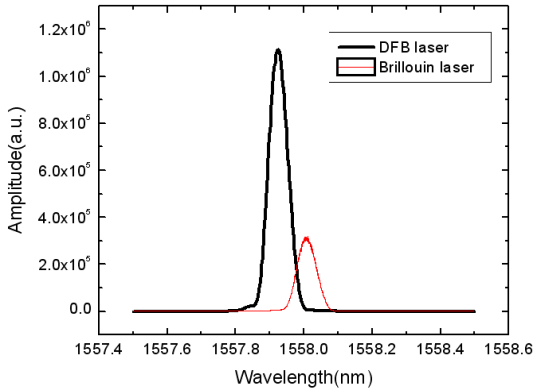
شکل ۳: چیدمان تولید لیزر بریلوئن



شکل ۴: خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر تک‌مد

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، خروجی لیزر بریلوئن به اندازه ۰/۰۸nm نسبت به لیزر DFB جابجا شده است. جهت مقایسه، طیف لیزر اصلی نیز در کنارخروجی لیزر بریلوئن در شکل نشان داده شده است. این جابجایی فرکانسی برابر با جابجایی فرکانسی بریلوئن فیبر استفاده شده می‌باشد. هنگامی که کاواک لیزر باز می‌شود، خروجی چیدمان شکل ۳ طیف پس‌پراکندگی خودبخود از حلقه فیبرنوری می‌باشد و پراکندگی رایلی که دارای فرکانس برابر با نور فرودی است، سهم زیادی از طیف را به خود اختصاص می‌دهد.

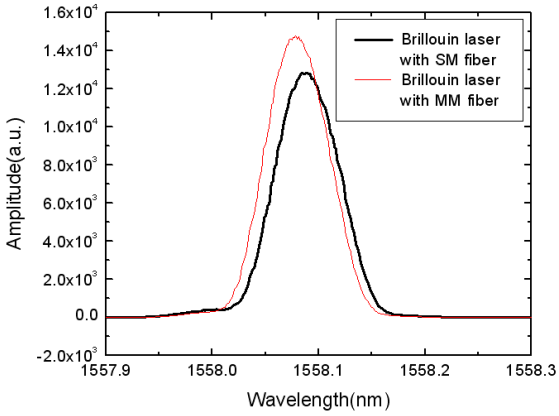
در این قسمت، فیبرنوری داخل کاواک لیزر بریلوئن تغییر داده می‌شود و از یک حلقه فیبرنوری چندمدی استفاده می‌شود. در شکل ۵ خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر چندمد نشان داده شده است. در این حالت از کوپلر ۱/۹۹ استفاده شده است. جهت مقایسه، خروجی لیزر DFB نیز نشان داده شده است. از آنجایی که دو فیبر هم به لحاظ ساختاری و هم از نظر ضرائب مکانیکی و اپتیکی متفاوت هستند، انتظار می‌رود که جابجایی فرکانسی بریلوئن متفاوت داشته باشند. بنابراین خروجی لیزر بریلوئن فیبر تک‌مد با فیبر چندمد در شکل۶ مقایسه شده است. اختلاف بین خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر تک‌مد و فیبر چندمد توسط تحلیلگر طیفی برابر ۰/۰۱nm تخمین زده شد. البته مقدار دقیق این اختلاف توسط تحلیلگر قابل محاسبه نیست.



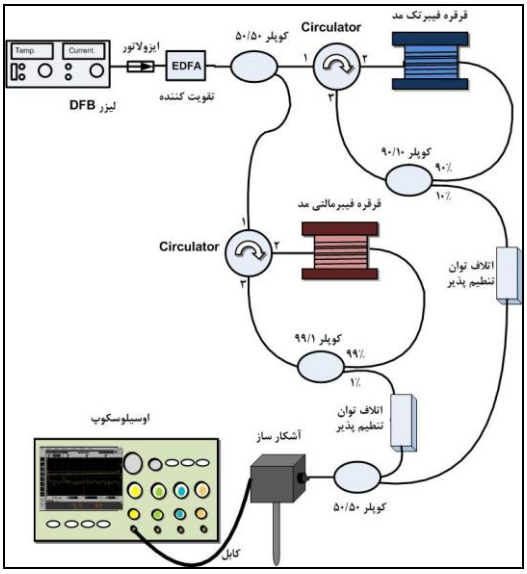
شکل۵: خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر چندمد

جهت مشاهده طیف زنش خروجی‌های لیزر بریلوئن برای دو فیبر تک‌مد و چندمد از چیدمان شکل ۷ استفاده می‌شود. جهت مشاهده طیف زنش از داده‌های زمانی اوسیلوسکوپ تبدیل فوریه گرفته می‌شود. تبدیل فوریه داده‌های زمانی چیدمان شکل۷ که در برنامه origin انجام شده است، در شکل۸ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، قله زنش در فرکانس ۱/۱۷۳ GHz قرار دارد. این فرکانس برابر با اختلاف فرکانسی خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر تک‌مد و فیبر چندمد می‌باشد. سیگنال زنش توسط تحلیلگر طیفی الکترونیکی نیز بررسی شد و سیگنال زنش برابر همین مقدار بدست آمد.

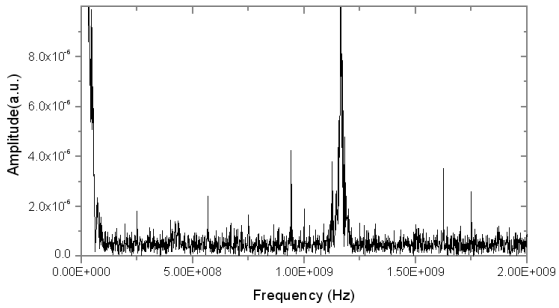
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-21]



شکل۶: مقایسه خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر تک‌مد و فیبر چندمد

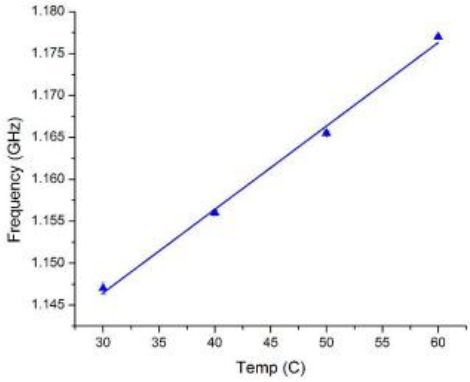


شکل ۷: چیدمان مشاهده طیف زنش خروجی‌های دو لیزر بریلوئن



شکل ۸: نتیجه تبدیل فوریه از داده‌های زمانی بدست آمده از اوسیلوسکوپ

در ادامه جهت بررسی حساسیت دمایی جابجایی فرکانسی بریلوئن فیبر تک مد، فیبر چند مد با قرار دادن داخل آون در دمای ۷۰°C ثابت نگه داشته شد و فیبر تک مد در آون دیگر که دارای دقت دمایی ۰.۱ °C است قرار داده و سپس دمای آن تغییر داده شد. تغییرات فرکانس سیگنال زنش با دما که نشان دهنده تغییرات جابجایی فرکانسی بریلوئن فیبر تک‌مد با دماست در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل۹: حساسیت فرکانس سیگنال زنش به دما با تغییر دمای فیبر تک‌مد

مقدار حساسیت دمایی فرکانس سیگنال زنش یا به عبارتی جابجایی فرکانس بریلوئن فیبر تک‌مد به دما برابر ۱/۰۵ $MHz/^0C$ بدست آمد.

۴- نتیجه‌گیری

سیگنال زنش بین خروجی لیزرهای بریلوئن فیبرهای تک‌مد و چندمد با استفاده از یک آشکارساز سریع بدست آمد. فرکانس سیگنال زنش با استفاده از اوسیلوسکوپ الکترونیکی سرعت بالا اندازه‌گیری شد. حساسیت این سیگنال به دما با تغییر دمای فیبر تک‌مد بررسی شد.

مراجع

[1] Ippen E. P. and Stolen R. H., *Stimulated Brillouin scattering in optical fibers*, **App. Phys. Lett.** 21 (1972) 531-541.

[2] Cowle G. L. and Stepanov D. Y., *Hybrid Brillouin-Erbium fiber laser*, **Opt. Lett.** 21 (1996) 1250-1252.

[3] Strutz S. J. and Williams K. J. U.S.Patent (2001) 82480.

[4] Hotate K. and Tanaka M., *Distributed fiber Brillouin strain sensing with 1cm spatial resolution by correlation based continuous wave technique*, **IEEE, Photon. Tech. Lett.** 14 (2002) 179-181.

[5] Boyd R. W., *Nonlinear optics*, Academic Express, 2007.

[6] Agrawal G. P., *Nonlinear fiber optics*, Academic Express, 2001.

[7] Parker T. R., Farhadiroushan M., Feced R., Handerek V. A. and Rogers A. J., *Simultaneous distributed measurement of strain and temperature from noise initiated Brillouin scattering in optical fibers*, **IEEE, J. Quantum Electron.** 34 (1998) 645-659.

[8] Maughan S. M., Kee H. H., and Newson T. P., *57 Km single ended spontaneous Brillouin based distributed fiber temperature sensor using microwave coherent detection*, **Opt. Lett.** 26 (2001) 331-333.

[9] Hao Y., Ye Q., *Design of wide band frequency shift technology by using compact Brillouin fiber laser for Brillouin optical time domain reflectometry sensing system*, **IEEE Photon. Journal**, 4 (2012) 1686-1692 .

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-21]