

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، اوين، 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 ۱۱ GHz به ۱ GHz کاهش داده خواهد شد. سپس تغییرات جابجایی فرکانسی بریلوئن با دما برای یک فیبر تک‌مد اندازه‌گیری می‌شود و حساسیت $1.05 \text{ MHz}/^{\circ}\text{C}$ بدست می‌آید.

کلید واژه - پراکندگی بریلوئن، آشکارسازی همدوس، فیبر نوری

Temperature Sensitivity Measurement of Brillouin Frequency Shift using Coherent Detection

Soodabeh Nouri Jouybari¹, Mahdi Movahedi², Hamid Latifi²

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 $1.05 \text{ MHz}/^{\circ}\text{C}$ was obtained.

Keywords: Brillouin Scattering, Coherent Detection, Optical Fiber.

۱- مقدمه

پراکندگی بریلون 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 بریلون در احساسگرهای توزیعی، حساسیت طیف پراکندگی بریلون به پارامترهای محیطی نظیر دما و کرنش می‌باشد.

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

۲- تئوری

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

$$\nu_B = 2n_{eff}V_{eff} / \lambda \quad (1)$$

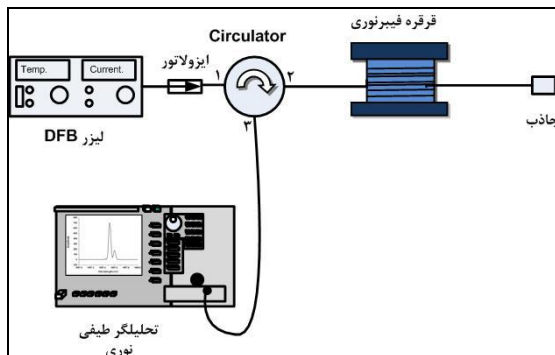
که در آن n_{eff} ، V_{eff} و λ به ترتیب ضریب شکست موثر موج نوری، سرعت آکوستیک موثر موج آکوستیک و طول موج نور می‌باشند. این جابجایی به پارامترهای خارجی نظیر دما و کرنش حساس است که مقدار آن برای فیبر نوری تک مد استاندارد برابر با $1.1 \pm 0.02 \text{ MHz} / ^\circ \text{K}$ برای کرنش $0.0483 \pm 0.0004 \text{ MHz} / \mu\epsilon$ و گزارش شده است [7]. از آنجایی که مقدار تغییرات 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 بریلون 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 بریلون 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 تقریباً برابر 11 GHz می‌باشد. بنابراین جهت آشکارسازی سیگنال زنش باید از یک آشکارساز با سرعت بالاتر از 11 GHz 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 بریلون پمپ شده توسط نور مرجع استفاده می‌شود [9]. در اینصورت می‌توان فرکانس زنش و در نتیجه فرکانس آشکارساز مورد نیاز را تا 1 GHz کاهش داد.

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

۳- شرح آزمایش و نتایج

جهت مشاهده پراکندگی بریلون در فیبرنوری از چیدمان شکل ۱ استفاده شده است.

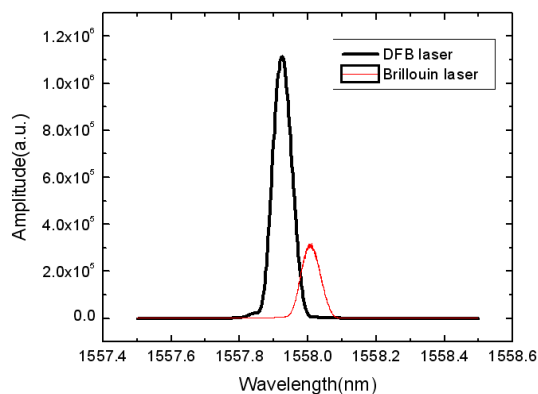


شکل ۱: چیدمان مشاهده پراکندگی بریلون در فیبرنوری

طول فیبرنوری در چیدمان شکل ۱ برابر 16 km انتخاب می‌شود. طیف حاصله روی دستگاه تحلیلگر طیفی برای جریان لیزر 55 mA در شکل ۲ نشان داده شده است. فاصله قله‌های سمت راست و چپ طیف نسبت به قله مرکزی حدود 0.8 nm است که برابر با جابجایی فرکانسی بریلون برای فیبرنوری به کار رفته می‌باشد. جهت تولید لیزر بریلون از چیدمان شکل ۳ استفاده شده است. در این چیدمان کوپلر $10/90$ به کار رفته و طیف

فرکانس برابر با نور فرودی است، سهم زیادی از طیف را به خود اختصاص می‌دهد.

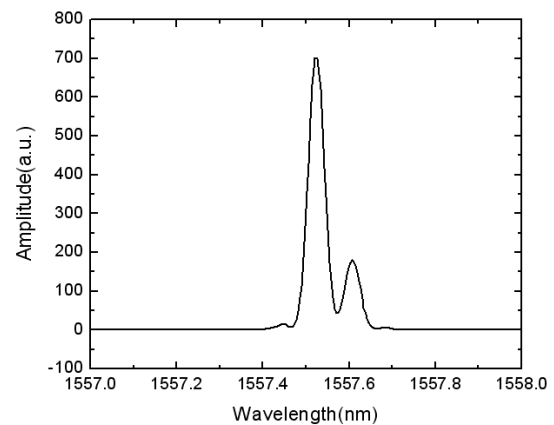
در این قسمت، فیبرنوری داخل کاواک لیزر بریلوئن تغییر داده می‌شود و از یک حلقه فیبرنوری چندمدی استفاده می‌شود. در شکل ۵ خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر چندمد نشان داده شده است. در این حالت از کوپلر ۱/۹۹ استفاده شده است. جهت مقایسه، خروجی لیزر DFB نیز نشان داده شده است. از آنجایی که دو فیبر هم به لحاظ ساختاری 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 شکل ۶ مقایسه شده است. اختلاف بین خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر تکمد و فیبر چندمد توسط تحلیلگر طیفی برابر 0.1 nm تخمین زده شد. البته مقدار دقیق این اختلاف توسط تحلیلگر قابل محاسبه نیست.



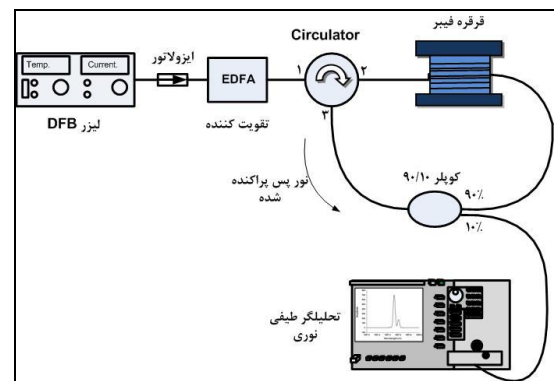
شکل ۵: خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر چندمد

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 شکل ۷ که در برنامه origin انجام شده است، در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، قله زنش در فرکانس $1/173 \text{ GHz}$ 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.

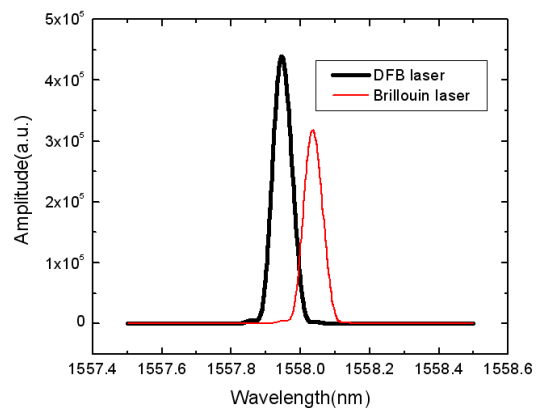
خروجی لیزر بریلوئن در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۶: طیف حاصله برای جریان لیزر ۵۵ mA و طول فیبر ۱۶ کیلومتر

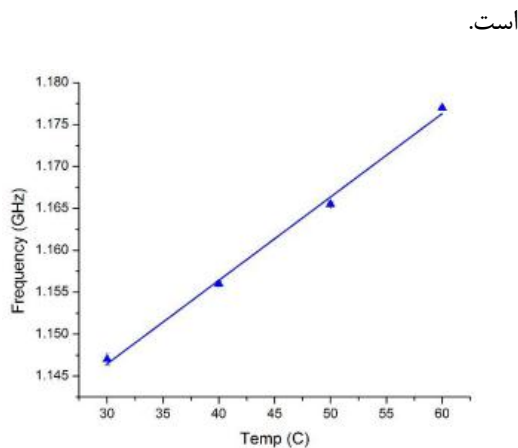


شکل ۷: چیدمان تولید لیزر بریلوئن



شکل ۸: خروجی لیزر بریلوئن برای فیبر تکمد

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، خروجی لیزر بریلوئن به اندازه 0.1 nm نسبت به لیزر DFB جابجا شده است. جهت مقایسه، طیف لیزر اصلی نیز در کنار خروجی 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



شکل ۹: حساسیت فرکانس سیگنال زنش به دما با تغییر دمای فیبر تکمد

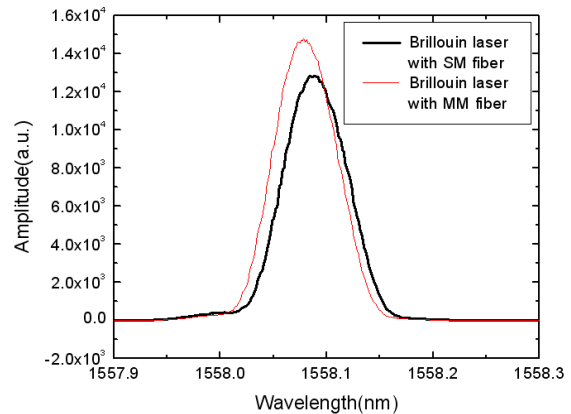
مقدار حساسیت دمایی فرکانس سیگنال زنش یا به عبارتی جابجایی فرکانس بریلون فیبر تکمد به دما برابر $1/0.5 \text{ MHz} / ^\circ\text{C}$ بدست آمد.

۴- نتیجه گیری

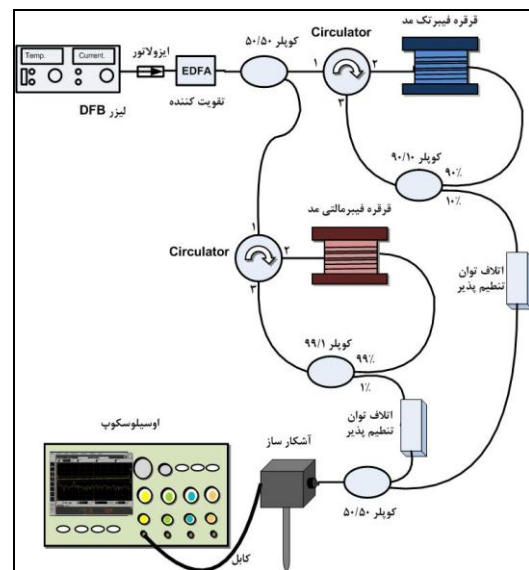
سیگنال زنش بین خروجی لیزرهای بریلون فیبرهای تکمد و چندمد با استفاده از یک آشکارساز سریع بدست آمد. فرکانس سیگنال زنش با استفاده از اوسیلوسکوپ الکترونیکی سرعت بالا اندازه گیری شد. حساسیت این سیگنال به دما با تغییر دمای فیبر تکمد بررسی شد.

مراجع

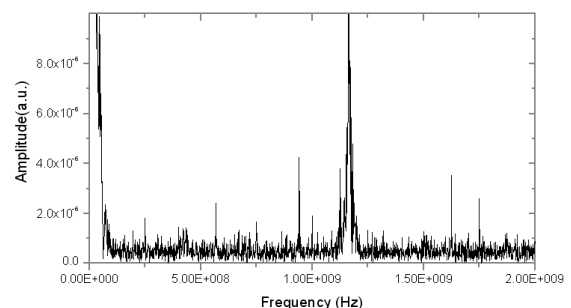
- [1] Ippen E. P. and Stolen R. H., *Stimulated Brillouin scattering in optical fibers*, **App. Phys. Lett.** 21 (1972) 531-541.
- [2] Cowle G. L. and Stepanov D. Y., *Hybrid Brillouin-Erbium fiber laser*, **Opt. Lett.** 21 (1996) 1250-1252.
- [3] Strutz S. J. and Williams K. J. U.S. Patent (2001) 82480.
- [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.



شکل ۶: مقایسه خروجی لیزر بریلون برای فیبر تکمد و فیبر چندمد



شکل ۷: چیدمان مشاهده طیف زنش خروجی های دو لیزر بریلون



شکل ۸: نتیجه تبدیل فوریه از داده های زمانی بدست آمده از اوسیلوسکوپ

در ادامه جهت بررسی حساسیت دمایی جابجایی فرکانسی بریلون فیبر تکمد، فیبر چندمد با قرار دادن داخل آن در دمای 70°C ثابت نگه داشته شد و فیبر تکمد در آن دیگر که دارای دقت دمایی 0.1°C است قرار داده و سپس دمای آن تغییر داده شد. تغییرات فرکانس سیگنال زنش با دما که نشان دهنده تغییرات جابجایی فرکانسی بریلون فیبر تکمد با دماست در شکل ۹ نشان داده شده