بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی و ساخت تقویت‌کننده پیوسته فیبری ایتربیوم سیگنال ضعیف

نوشین شاطری نژاد، محمد جواد حکمت و حمیدرضا زنگنه

دانشگاه کاشان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشگاه کاشان

چکیده - در این مقاله در راستای طراحی و ساخت تقویت‌کننده‌ی فیبری پیوسته دو غلافه آلاییده با ایتربیوم، برای سیگنال‌های ورودی ضعیف، بررسی‌های تئوری و تجربی انجام شده است. در ابتدا طراحی با استفاده از برنامه RP fiber power انجام شد که در آن اثرات ناشی از تغییرات توان سیگنال و دمش، بر روی گسیل خودبخودی تقویت شده (ASE) ، که خود یکی از عوامل اصلی ایجاد نوفه در این تقویت کننده ها ست، مورد بررسی قرار گرفت. سپس با ساخت طرح اولیه ی این تقویت کننده، نتایج استفاده از دو لیزر دیود سیگنال متفاوت با پهنای باندی۰/۵ نانومتر و ۳۰مگاهرتز با یکدیگر مقایسه گردید. در نهایت با انتخاب مؤلفه های مناسب، تقویت کننده ای با ضریب بهره ۷۰٪ بدست آمد، که پهنای طیفی آن باریک و حداکثر توان خروجی آن ۸۰ وات برای سیگنال ورودی ۲۰۰ میلی وات است.

کلید واژه- اثر ASE، ایتربیوم، پهنای خط باریک، تقویت کننده فیبری پیوسته، فیبر دو غلافه

Design and fabrication of CW low signal Ytterbium doped fiber amplifier

Nooshin Shatery Nejad, Mohamad Javad Hekmat, and Hamid Reza Zangeneh

Kashan University, IUT, Kashan University

Abstract- In this paper, we have presented the theoretical and experimental models to design and fabricate CW YDDC fiber amplifier in low input signals. At first by using RP fiber power software, the effects which are based on changing power of signal and pump on the ASE power, which is utmost sources of noise in amplifiers, have been simulated.
Then by fabrication of the schematics of amplifier, the results of using two different signal diode lasers one with 0.5 nm line width and the other one with 30 MHz have been compared with each other.
Finally by choosing appropriate elements the amplifier with the rate efficiency of about 70% was obtained, which has narrow line width signal and ability of amplification of almost 80 W as an output signal from 200mW input signal power.

Keywords: ASE effect ,CW fiber amplifier, Double clad fiber, Narrow line width , Ytterbium,

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

۱- مقدمه

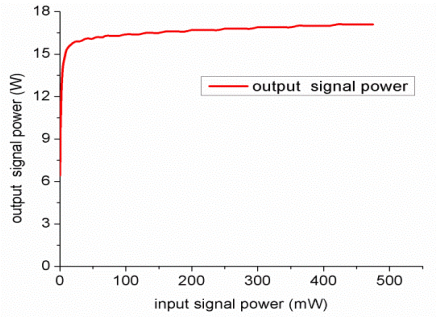
تقویت‌کننده‌های عناصر کمیاب خاکی به علت بهره بالا، کیفیت پرتو خوب، کوچکی و ... در ارتباطات، صنعت و پزشکی کاربردهای متعددی دارند[3],[2],[1]. تقویت‌کننده‌های فیبری آلاییده با اربیوم(EDFA) به عنوان ابزار ارتباطات راه دور دارای محدودیت در انرژی و توان‌های بالا بودند[5],[4]. در این زمان تقویت‌کننده‌های فیبری آلاییده با ایتربیوم(YDFA) به علت پهنای باند وسیعتر و بهره بالاتر در مقایسه با تقویت‌کننده‌های فیبری آلاییده با اربیوم انتخاب بهتری بودند.[6],[2]. با اختراع تکنیک پمپ از غلاف، توان خروجی افزایش یافت[8],[7]. مدل-های تئوری متفاوتی برای تقویت سیگنال پیوسته در تقویت‌کننده‌های فیبری آلاییده با ایتربیوم بررسی شد[12],[9],[2] . هاردی و همکارانش با در نظر گرفتن ASE و پراکندگی رایلی در توان پمپ 50W نتایجی را به دست آوردند[10],[9]. ونگ و همکارانش با در نظر گرفتن اثر رامان و گرما سیستم را در حد کیلووات ارتقا دادند[12],[11]. هدف این مقاله به-دست‌آوردن سیگنالی قوی از یک سیگنال ضعیف پیوسته می‌باشد. در این تحقیق، اثرات توان سیگنال و پمپ بر میزان ASE به صورت تئوری بررسی شده است و سپس نتایج آن به صورت تجربی با تئوری مقایسه شده است.

۲- مدل تئوری

با استفاده از برنامه RP FIBER POWER معادلات نرخ ایتربیوم [13] حل شد و نتایج مفیدی با در نظر گرفتن ASE به دست آمد. طیف ASE از طول‌موج ۹۵۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر به کانال‌هایی با پهنای ۲ نانومتر تقسیم شد. در این شبیه‌سازی، از فیبر دو غلافه آلاییده با ایتربیوم با شعاع هسته ۲۰ میکرومتر و غلاف داخلی ۴۰۰ میکرومتر استفاده شد.

۲-۱- بررسی اثر توان سیگنال ورودی به توان خروجی

تاثیر توان ورودی سیگنال بر توان خروجی در طول‌موج پمپ ۹۷۵ نانومتر، سیگنال ۱۰۶۴ نانومتر و توان پمپ ۲۰ وات بررسی شد که در شکل ۱ آمده است.



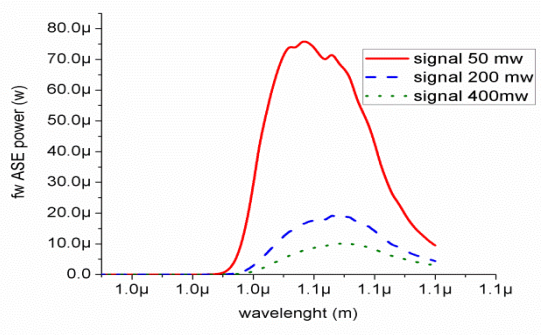
شکل ۱:تغییرات توان سیگنال خروجی بر سیگنال ورودی برای پمپ ۲۰ وات

طبق شکل ۱ واضح است که با افزایش توان سیگنال ورودی، توان خروجی نیز افزایش می‌یابد. ولی از یک مقدار مشخص در توان ورودی که حدوداً ۲۰۰ میلی وات می‌باشد، عملاً توان خروجی تغییر چشمگیری ندارد. بنابراین توان سیگنال ورودی می‌تواند در این ناحیه انتخاب شود.

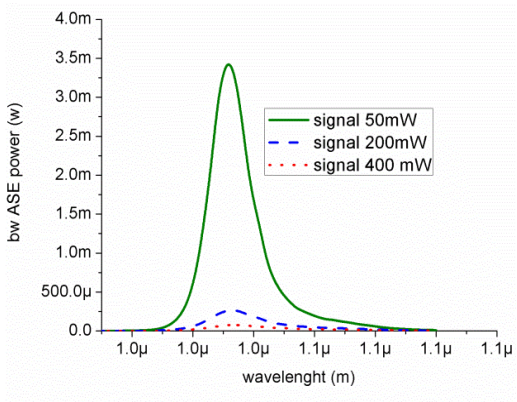
۲-۲- بررسی میزان تاثیر توان سیگنال بر توان ASE

برای ۳ سیگنال با توان‌های مختلف در توان پمپ ثابت ۴۰ وات، طیف ASE در شکل۲ برای ASE رو به جلو و در شکل۳ برای ASE رو به عقب بررسی شد.

همانطور که با بررسی شکل۲ و۳ دیده می‌شود، با افزایش توان سیگنال ورودی، توان ASE کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که میزان ASEرو به عقب به مراتب بیشتر ازASE رو به جلوست، که این مسئله ناشی از وارد کردن سیگنال از جلو می‌باشد.



شکل ۲:توان ASE رو به جلو برای سیگنال‌های متفاوت در پمپ ثابت ۴۰ وات



شکل۳ : توان ASE رو به جلو برای سیگنال های متفاوت در پمپ ثابت ۴۰ وات

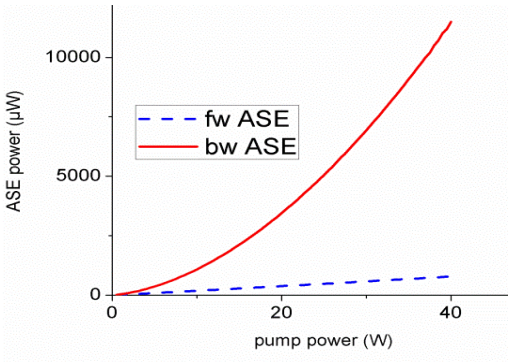
بیشتر بودن توان ASE رو به عقب بر ما ملزم می‌دارد که پس از لیزر دیود

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

سیگنال یک ایزولاتور استفاده شود تا از بازخورد جلوگیری کند و مانع از آسیب به لیزر دیود شود.

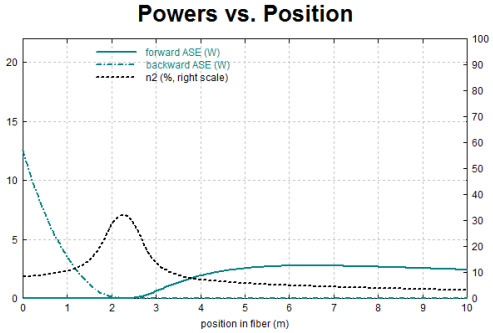
۲-۳- بررسی میزان تاثیر توان پمپ بر میزان ASE

با بررسی توان ASE در توان پمپ‌های مختلف در توان سیگنال ثابت ۵۰ میلی‌وات، طبق شکل۴ به این نتیجه رسیدیم که با افزایش توان پمپ میزان ASE افزایش یافته است و این بار نیز مقدار ASE رو به عقب بیشتر از ASEرو به جلوست.

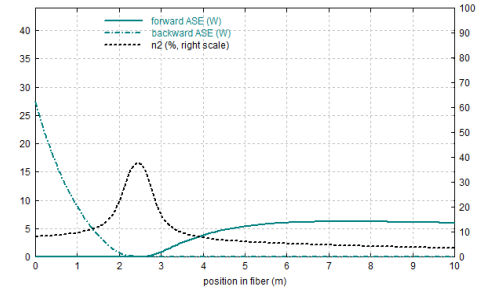


شکل۴:مقایسه ASE رو به عقب و جلو در پمپ های مختلف و سیگنال ثابت 50mW

در مرحله ی بعد در غیاب سیگنال و فقط با پمپ کردن در توان های 20W و 40W ، وارونگی جمعیت و میزان ASE در شکل‌های ۵ و۶ به‌دست‌آورده‌شد.



شکل۵: در غیاب سیگنال و در توان پمپ 20W

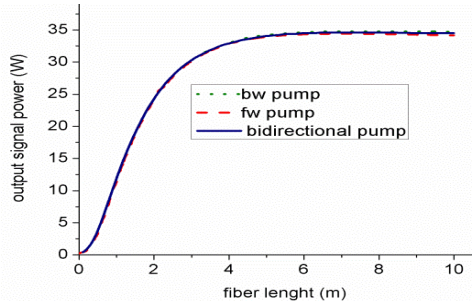


شکل6: در غیاب سیگنال و در توان پمپ 40W

دیده می‌شود که هنگامی که N_2 به بیشترین مقدار خود می‌رسد ASE به کمترین مقدار می‌رسد. همچنین گرچه مقدار انرژی ذخیره شده در 40W بیشتر از 20W می‌باشد، اما به همان نسبت ASE نیز افزایش یافته است.

۲-۴- طول بهینه

برای به دست آمدن طول بهینه در شبیه‌سازی، پمپ از ۳ جهت عقب، جلو و دوطرفه انجام شد و نتیجه‌ی آن در شکل۷ مشاهده گردید.

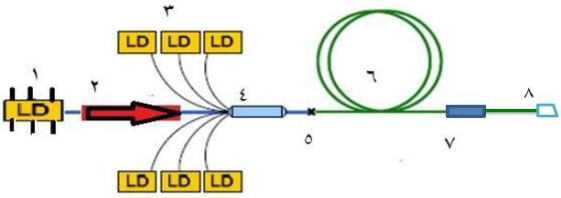


شکل ۷: طول بهینه در شماتیک‌های مختلف پمپ

شکل۷ برای توان سیگنال 200mW و طول موج پمپ 975 nmبررسی شد که دیده می‌شود، طول فیبر حدود ۶ متر برای هر ۳ شماتیک مناسب می‌باشد.

۳- مدل تجربی

چیدمان آزمایشگاهی به صورت شکل۸ می‌باشد که در آن شماره‌ی۱ لیزر دیود پیوسته سیگنال، شماره‌ی۲ یکسوساز، که به علت زیاد بودن ASE رو به عقب، برای جلوگیری از آسیب به لیزر دیود سیگنال تعبیه شده است. شماره‌ی۳ شش لیزر دیود پمپ هستند که هر یک توان 20Wدارند. شماره‌ی۴ ترکیب‌کننده 1×(18+1)، شماره۵ محل جوش ترکیب‌کننده به محیط فعال فیبر می‌باشد. شماره‌ی۶ فیبر دو غلافه آلاییده به ایتربیوم با قطر ۲۰/۴۰۰ و سطح‌مقطع هشت‌گوش و طول ۸ متر می‌باشد. شماره‌ی ۷ برداشتن قسمتی از روکش می‌باشد که به منظور حذف پمپ جذب نشده در انتهای فیبر و بهبود پروفایل لیزر به کار گرفته شده است. شماره‌ی ۸ برش ۶درجه انتهای فیبر است که مانع بازتاب نور میگردد.

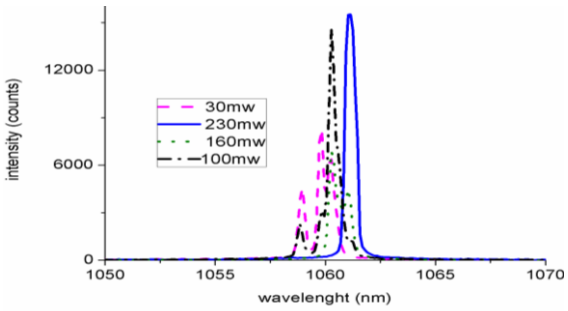


شکل۸ :چیدمان آزمایشگاهی

نتایج تجربی با دو لیزر دیود سیگنال مختلف بررسی شد.

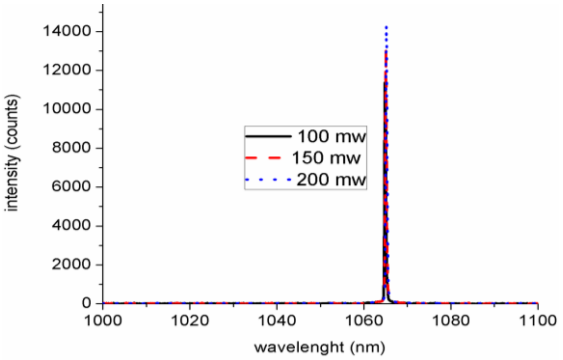
[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

اولین لیزر دیود سیگنال در طول‌موج 1062 nm و پهنای باندی 0.5 nm به کار برده شد. با تغییر توان سیگنال‌های ورودی در پمپ ثابت 22W سیگنال‌های خروجی در شکل ۹ ظاهر گردید.



شکل۹:نتایج تجربی در سیگنال‌های ورودی مختلف در پمپ ثابت ۲۲ وات

نتایج نشان می‌دهند که در توان سیگنال 200mW ما بیشترین خروجی و کمترین ASE را داریم. در توان‌های پایین‌تر تغییر فرکانسی نیز مشاهده می‌شود که به علت زیاد بودن ASE و جهش مدی است که باعث ناپایداری نیز شده است. هدف، تولید یک سیگنال تقویت شده با پهنای طیفی باریک است پس در مرحله بعد با تغییر لیزر دیود سیگنال به لیزر دیودی با طول‌موج1064nmو پهنای باندی 50MHz که به یک FBG متصل است، نتایج شکل ۱۰ مشاهده شد.

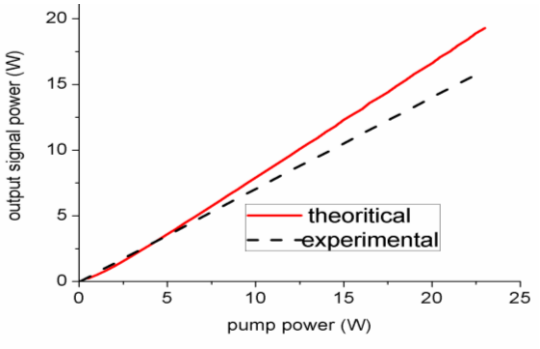


شکل۱۰:نتایج تجربی لیزر دیود سیگنال جدیددر پمپ21W

همین طور که دیده شد به علت استفاده ازFBG در لیزر دیود پایداری خوبی به وجود آمد و جهش مدی نیز در توان‌های پایین‌تر از بین رفت. نرخ بهره تجربی(حدود ۷۰٪) و تئوری در شکل۱۱ مشاهده می‌شود.

نتیجه گیری

با بررسی اثرASE به این نتیجه رسیده شد که افزایش توان سیگنال باعث کاهش اثر آن می‌گردد. همچنین برای پایداری بیشتر باید از لیزر دیود سیگنالی که دارای FBG می‌باشد، استفاده کرد. در نهایت از یک لیزر دیود سیگنال پیوسته ضعیف 200mW به توان خروجی حدوداً 80W دست یافتیم که در مقایسه با کارهای قبلی به علت هزینه ی کمتر و بازدهی نسبتا خوب آن قابل توجه می باشد



شکل ۱۱: نرخ بهره

مراجع.

[1] YongWang,Hong Po," *Dynamic charecteristics of double clad fiber amplifiers for high power pulse amplification*", journal of lightwave technology, Vol 21,10, October 2003

[2] R. Paschotta, J. Nilsson, A. C. Tropper, and D. C. Hanna, "*Ytterbium doped fiber amplifiers*," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 33, no. 7, pp.1049–1056, Jul. 1997.

[3]M. J. F. Digonnet, *Rare-Earth-Doped Fiber Lasers and Amplifiers*, 2nded. New York: Marcel Dekker, 2001.

[4] C. R. Giles and E. Desurvire, "*Modeling erbium-doped fiber amplifiers*,"*J. Lightw. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 271–283, Feb. 1991.

[5] K. Y. Ko,M. S. Demokan, and H. Y. Tam, "*Transient analysis of erbiumdopedfiber amplifiers*," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6, no. 12, pp.1436–1438, Dec. 1994.

[6] H. M. Pask, R. J. Carman, and D. C. Hanna *et al.*, "*Ytterbium-doped silica fiber lasers: versatile sources for the 1–1.2 _m region*," *IEEE J Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 1, no. 1, pp. 2–13, Jan. 1995.

[7] L. Goldberg and J. P. Koplow, "*Highly efficient 4-W Yb-doped fiber amplifier pumped by abroad-stripe laser diode*," *Opt. Lett.*, vol. 24, pp.673–675, 1999.

[8] L. Zenteno, "*High-power double-clad fiber lasers*," *J. Lightw. Technol.*,vol. 11, no. 9, pp. 1435–1446, Sep. 1993.

[9] A. A. Hardy and R. Oron, "*Signal amplification in strongly pumped fiberamplifiers*," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 33, no. 3, pp. 307–313,Mar. 1997.

[10] A. A. Hardy and R. Oron, "*Amplified spontaneous emission and Rayleigh backscattering in strongly pumped fiber amplifiers*," *J. Lightw. Technol.*, vol. 16, no. 10, pp. 1865–1873, Oct. 1998.

[11], Y. Wang "*Heat dissipation in kilowatt fiber power amplifiers*," *IEEE J.Quantum Electron.*, vol. 40, no. 6, pp. 731–740, Jun. 2004.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]