بررسی تاثیر پارامترهای تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی بر تقویت گسیل خودبه‌خودی

زینب اکبری، لاله رحیمی نژاد ، سید مهدی موسوی، سید علی اصغر عسگری و نرگس کفایی

دانشگاه صنعتی مالک اشتر-پژوهشکده‌ی علوم و فناوری اپتیک و لیزر، شاهین‌شهر، اصفهان

دانشگاه شیراز-گروه فیزیک، شیراز

دانشگاه شهید چمران اهواز –گروه فیزیک، اهواز

چکیده - در تقویت‌کننده‌های نوری، سیگنال در حال عبور از تقویت‌کننده به نوع مهمی از نوفه موسوم به گسیل خوبه‌خودی تقویت‌شده آمیخته می‌شود. یافتن راه حل مناسب برای کاهش موثر این نوفه در تقویت‌کننده ملزم به بررسی اثر پارمترهای مختلف تقویت‌کننده بر این نوفه است. در این مقاله تاثیر انرژی سیگنال، طول محیط بهره و بهره‌ی سیگنال کوچک بر گسیل خودبه‌خودی تقویت شده در تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی، شبیه‌سازی و بررسی شده است. نتایج حاصل در انتخاب روش کاهش گسیل خودبه‌خودی تقویت‌شده در تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی بسیار مفید خواهند بود.

کلید واژه-تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی، گسیل خودبه‌خودی تقویت‌شده، انرژی سیگنال ورودی، طول محیط بهره، بهره‌ی سیگنال کوچک.

Investigation of the effect of regenerative amplifier parameters on amplified spontaneous emission

Zeinab Akbari, Laleh Rahimi Nejad, Seyyed Mahdi Mousavi, Seyyed Ali Asghar Askari, Narges Kafaei

Optics & Laser Scince & Technology Research Center,Malek-ashtar University of Technology, Shahin Shahr, Isfahan

Shiraz University, Department of Physics, Shiraz

Shahid Chamran University of Ahvaz, Department of Physics, Ahvaz

Abstract- passing signal from an amplifier is doped to the noise named amplified spontaneous emission (ASE). To find effective reducing method of this noise needs that we examine effect of the amplifier different parameters respect to it. In this letter we have done a complete analysis of characteristic ASE versus seed energy, gain medium length and small signal gain via stimulating of ASE in a regenerative amplifier. The results will be suit to select effective reducing method of ASE in a regenerative amplifier

Keywords: regenerative amplifier, amplified spontaneous emission, seed energy, gain medium length, small signal gain

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-02]

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

۱- مقدمه

تپ‌های کوتاه لیزری با انرژی بالا از اهمیت ویژه‌ای در تحقیقات علمی و کاربردهای صنعتی برخوردار هستند از این رو تقویت تپ یکی از ملزومات سامانه‌های لیزری است. معمولا برای تقویت این تپ‌ها از روش موسوم به تقویت تپ چیرپ شده(CPA) استفاده می‌شود[۱]. در این سیستم‌ها امکان آمیخته شدن تپ (سیگنال) در حال عبور از تقویت‌کننده به نوع مهمی از نوفه موسوم به گسیل خودبه‌خودی تقویت‌شده(ASE[۲]) وجود خواهد داشت. منشأ ایجاد این نوفه فوتون‌های غیر هم‌فاز تابش‌شده در فرایند گسیل خودبه‌خود در تقویت‌کننده‌ی نوری می‌باشند که پس از تولید وارد چرخه‌ی تقویت‌شده و به همراه فوتون‌های سیگنال اصلی شروع به رشد می‌کنند. وجود ASE نه‌تنها موجب نوسانات کاتوره‌ای شدت (به دلیل فاز کاتوره‌ای فوتون‌های تابش‌شده در فرایند گسیل خودبه‌خود) و تخریب نیم‌رخ زمانی سیگنال می‌گردد، بلکه باعث ایجاد مشکلات دیگری از قبیل باریک شدگی طیفی سیگنال تقویت‌شده، کاهش ضریب تقویت سیگنال و کاهش نسبت شدت سیگنال به نوفه (SNR[۳]) نیز می‌گردد [۲].

تابه‌حال روش‌های مختلفی برای کاهش این نوفه در تقویت‌کننده‌های CPA از قبیل استفاده از چیدمان(DCPA[۴]) [۳]، جاذب اشباع‌پذیر[۴]،استخراج در حین پمپاژ(EDP[۵]) [۵] و... پیشنهادشده است.

کاهش ASE به‌ویژه در طبقات اول تقویت‌کننده، برای جلوگیری از تقویت آن در دیگر طبقه‌ها، بسیار مهم است؛ بنابراین بررسی وابستگی ASE به پارامترهای مختلف تقویت‌کننده و انتخاب پارامتر بهینه برای کاهش ASE از اهمیت شایانی برخوردار است. در این مقاله ما با بهره گیری از معادلات نرخ تقویت سیگنال و گسیل خودبه‌خودی[۶] تاثیر طول محیط بهره، انرژی سیگنال و بهره‌ی سیگنال کوچک مختلف بر ASE را شبیه سازی و بررسی می‌کنیم.

۲- روش کار

به منظور محاسبه‌ی تقویت همزمان گسیل‌خودبه‌خودی و سیگنال در یک تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی از دستگاه معادلات جفت‌شده تقویت سیگنال و ASE بهره می‌گیریم معادلات حاکم بر سیستم دوترازی تکفام به صورت:

$$\frac{\partial N_2}{\partial t} = -\sigma c N_2 (N_s + N_{ASE}) - \frac{N_2}{\tau_f} \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial N_s}{\partial t} + \frac{\partial N_s}{\partial x} c = \sigma c N_2 N_s \qquad (۲)$$

$$\frac{\partial N_{ASE}}{\partial t} + \frac{\partial N_{ASE}}{\partial x} c = \sigma c N_2 N_{ASE} + \frac{N_2}{\tau_r} K_{\Delta\Omega} \qquad (۳)$$

می‌باشد. σ سطح مقطع گسیل، c سرعت نور در خلأ، τ_f طول عمر تراز دوم، τ_r زمان فروافت فوتون‌های تابشی N_2, N_{ASE}, N_s به ترتیب چگالی حجمی فوتونهای سیگنال، چگالی حجمی فوتون‌های ASE و چگالی حجمی اتم‌های برانگیخته می‌باشند. $K_{\Delta\Omega}$ کسری از گسیل خودبه‌خودی تولید شده در کل زاویه‌ی فضایی 4π است که در تقویت‌کننده، تقویت می‌شوند. اگر تقویت تنها برای مد اصلی باشد (TEM_{00}) $K_{\Delta\Omega}$ با واگرایی مد TEM_{00} ، تعیین می‌شود[۷]. در این صورت خواهیم داشت:

$$K_{\Delta\Omega} = \frac{\lambda^2}{4\pi . A} \qquad (۴)$$

که در آن λ طول موج سیگنال تقویت‌کننده و A سطح مقطع پمپ است. در نوشتن روابط (۱)-(۳) فرض شده است که محیط پیش از ورود سیگنال تا مقدار معینی پمپ شده، همچنین تقویت گسیل خودبه‌خودی تنها در راستای تقویت سیگنال در نظر گرفته‌شده است.

معادلات را برای یک تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی با محیط فعال تیتانیوم سفایر، سطح مقطع ۰/۱ سانتی متر مربع،

[۱] Chirped pulse amplification (CPA)
[۲] Amplified spontaneous emission (ASE)
[۳] Signal to noise ratio (SNR)
[۴] double Chirped pulse amplification (DCPA)
[۵] Extracting during pumping (EDP)

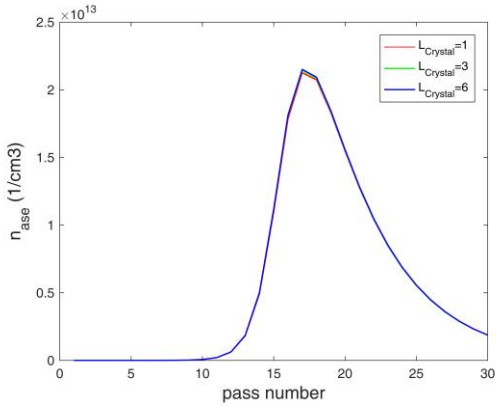
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-02]

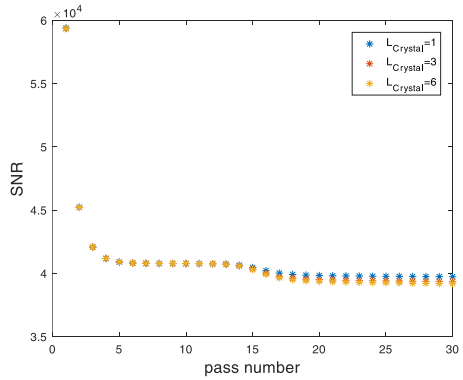
$\tau_r = 4us$ ، $\tau_f = 3.2us$ [۸] و ضریب اتلاف ۲۰٪در هر عبور به روش عددی تفاضل محدود[۱] با استفاده از کد نویسی در نرم افزار متلب، برای سه مقدار متفاوت از طول محیط بهره، انرژی سیگنال ورودی و بهره‌ی سیگنال کوچک، در طول موج ۷۹۵ نانومتر،حل و شبیه سازی شده است. دقت روش حل عددی متناسب با گام زمانی و مکانی انتخاب شده برای حل (Δt و Δx) است.

۳- نمودارها

شکل۱ چگالی فوتون‌های ASE تولید شده با فرض ثابت بودن بهره‌ی سیگنال کوچک(G_0=۴) و انرژی سیگنال ورودی(۱nj) در سه طول مختلف را نشان می‌دهد.



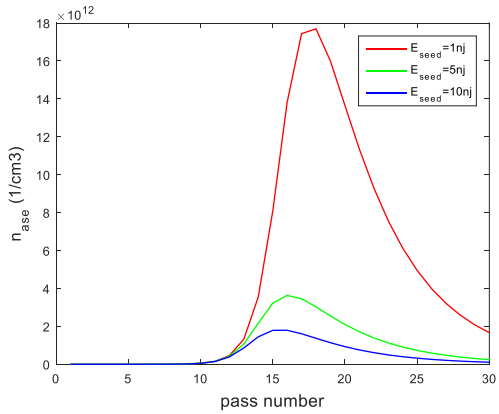
شکل۱:چگالی فوتون‌های ASE برای سه طول مختلف از محیط بهره



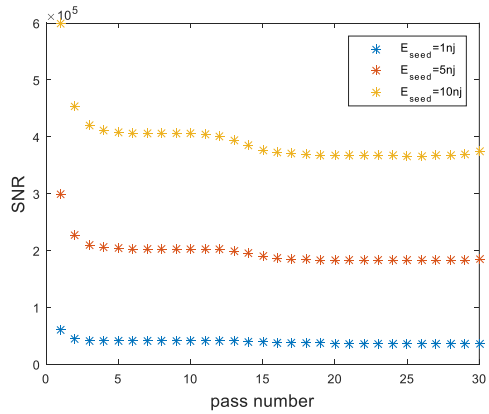
شکل۲: نسبت سیگنال به نوفه برای سه طول مختلف از محیط بهره

با توجه به اینکه بهره‌ی سیگنال کوچک در هر سه طول یکسان فرض شده است. با افزایش طول کریستال چگالی اتم‌های برانگیخته در واحد حجم کاهش می‌یابد. نتیجتا باتوجه به نمودار۱و۲ تغییری در ASE و SNR با افزایش طول نخواهد بود. تفاوت اندک مشاهده شده در این دو نمودار ناشی از خطای روش حل عددی است که با استفاده از انتخاب گام مکانی کوچکتر این خطا کمتر خواهد شد.

تاثیر سیگنال ورودی به تقویت‌کننده با انرژی متفاوت بر ASE در شکل۳ و شکل۴ به ازای طول کریستال ۱cm و G_0=۴ به تصویر کشیده شده‌است. سیگنال ورودی بزرگتر، رقیب قدرتمندتری در تخلیه محیط بهره برای ASE می‌شود. که کم شدن قله‌ی ASE را بدنبال خواهد داشت.



شکل۳: چگالی فوتون‌های ASE برای سه انرژی سیگنال ورودی مختلف از محیط بهره



شکل۴: نسبت سیگنال به نوفه برای سه انرژی سیگنال ورودی مختلف از محیط بهره

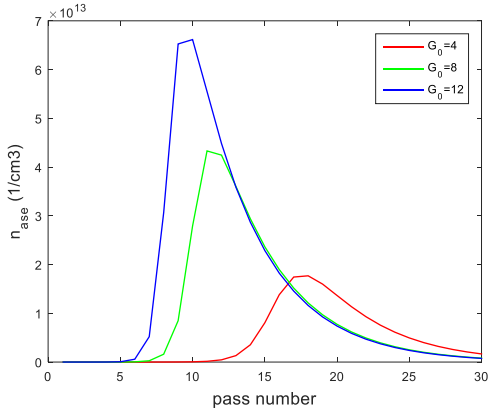
افزایش سیگنال خروجی از نوسانگر لیزر قبل از ورود به تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی تا زیر آستانه‌ی تخریب اداوات نوری با استفاده از یک پیش تقویت کننده منجر به کاهش چشم گیر ASE می‌شود.

[۱] Finite_difference Method

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

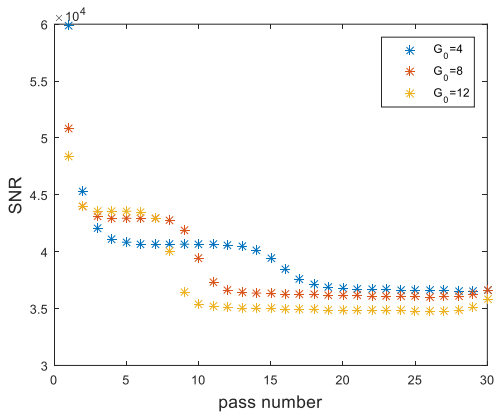
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-02]

تغییر بهره‌ی سیگنال کوچک توسط انرژی پمپاژ محیط بهره، منجر به رفتار متفاوت ASE و SNR در تقویت‌کننده می شود. چگالی فوتون‌های ASE و SNR برای انرژی سیگنال ورودی (۱nj) و طول محیط (۱cm) در سه بهره-ی سیگنال کوچک متفاوت به ترتیب در شکل۵ و شکل۶ نشان داده شده‌است. با افزایش بهره، ASE نیز رشد بیشتری خواهد کرد. بدیهی است که هرچه بهره بیشتر باشد زودتر اشباع می‌شود.



شکل۵:چگالی فوتون‌های ASE برای سه بهره‌ی سیگنال کوچک مختلف از محیط بهره

با افزایش بهره‌ی سیگنال کوچک، ASE خصوصا در عبورهای ابتدایی که سیگنال تقریبا ضعیف است، افزایش سریعی دارد، که نتیجه‌ای در کاهش SNR را بدنبال دارد. در عبورهای بعدی با افزایش سیگنال، و غلبه آن بر ASE روند SNR عکس حالت ابتدایی خواهد بود، و در نهایت بدلیل باقی‌ماندن بهره‌ی بالاتر در محیط بعد از رسیدن سیگنال به قله‌ی بهره، SNR در محیط با بهره‌ی بالاتر، کاهش خواهد یافت. اشکال عمده در اینجا بهره بالا در ابتدای تقویت است که می‌توان به جای روش معمول تزریق سیگنال ورودی بعد از پمپاژ کامل محیط تقویت-کننده، پمپاژ محیط را در هنگام تقویت سیگنال انجام داد. به طوری که بهره‌ی کلی در هر دو حالت، یکی باشد. بدین منظور بایستی از پمپی با پهنای زمانی در مرتبه‌ی تمام فرایند تقویت استفاده شود (در مرتبه‌ی میکروثانیه) و یا اینکه در هر عبور سیگنال، محیط به مقدار لازم برای تقویت پمپ شود (لیزر پمپ با نرخ تکرار بالا).



شکل۶: نسبت سیگنال به نوفه برای سه بهره‌ی سیگنال کوچک مختلف از محیط بهره

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر پارامترهای قابل تغییر در تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی، طول محیط بهره، انرژی سیگنال ورودی، بهره سیگنال کوچک بر ASE مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفت. در صورت ثابت بودن بهره‌ی سیگنال کوچک، طول محیط فعال تاثیر چندانی بر ASE نخواهد داشت.

همچنین برای داشتن کمینه‌ی ASE بایستی از یک پیش تقویت‌کننده قبل از تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی استفاده کرد. استفاده از پمپاژ محیط در زمان تقویت، بهره‌ی سیگنال کوچک را کم و منجر به کاهش ASE می‌شود.

مراجع

[1] D. Strickland and G. Mourou, *Compression of amplified chirped optical pulses*, Opt Commun, pp. 219–221, 1985.

[2] Deb, Paramita, Kailash C. Gupta, and Jayant Fuloria. "Nd: glass regenerative amplifier with increased bandwidth and high output energy for chirped pulse amplification systems." *Applied optics*49.10,pp.1698-1706, 2010.

[3] A. Jullien et al."Nonlinear spectral cleaning of few-cycle pulses via cross-polarized wave (XPW) generation", Appl. Phys. B, vol. 96, no. 2–3, pp. 293–299, Aug. 2009.

[4] W. Zhang, Y. Wang, Q. Wang, L. Chai, and Q. Xing, "Amplified spontaneous emission and its restraint in a terawatt Ti: Sapphire amplifier", Sci. China Ser. Math. vol. 43, no. 8, pp. 853–860, Aug. 2000.

[5] V. V. Chvykov and K. Krushelnik, *Suppression of Amplified Spontaneous Emission (ASE) by Extraction During Pumping (EDP) in the Large Aperture Multi-Pass Amplifiers*, pp. FM4G.4, 2012.

[۶] اکبری، زینب و همکاران ، *مدل بندی و شبیه‌سازی تقویت گسیل خودبه‌خودی و سیگنال در تقویت‌کننده‌ی بازتولیدی*، پنجمین همایش مهندسی اپتیک و لیزر،۱۳۹۶.

[7] S. Keppler *et al.*, "The generation of amplified spontaneous emission in high-power CPA laser systems," *Laser Photonics Rev.*, vol. 10, no. 2, pp. 264–277, 2016.

[8] Koechner, Walter. *Solid-state laser engineering*. Vol. 1. Springer, 2013.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-02]