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

تاثیر مدولاسیون جریان روی جمعیت حاملین سالیتون‌های کاواک و پهنای باند مدولاسیون

فریبا لطفی، رضا خردمند

گروه فوتونیک، پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی،بلوار ۲۹ بهمن، دانشگاه تبریز

چکیده – فرکانس نوسانات واهلشی و نرخ میرایی از مشخصه‌های مهم لیزرهای نشرکننده از سطح با کاواک عمودی(*VCSEL*) هستند. در مدولاسیون جریان این دو پارامتر حائز اهمیت هستند چون توان خروجی لیزر به آن‌ها وابسته است. در این مقاله تاثیر مدولاسیون جریان بر فرکانس نوسانات واهلشی و مشخصات سالیتون‌های کاواک مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین تاثیر مدولاسیون جریان بر پهنای باند لیزرهای نیم‌رسانا در رژیم سالیتونی مورد مطالعه قرار گرفته است. به دلیل وجود بهره نوری بیشتر در سالیتون‌های کاواک نسبت به نقاط عادی در صفحه عرضی لیزر نیم‌رسانا، انتظار می‌رود که نتایج بهتری از پاسخ مدولاسیون جریان سالیتون‌های کاواک به‌دست آید.

کلید واژه- پهنای باند، فرکانس نوسانات واهلشی،نرخ میرایی، سالیتون‌های کاواک،مدولاسیون جریان.

Effect of current modulation on carrier population of cavity Solitons and modulation bandwidth

Fariba Lotfi, Reza Kheradmand

Photonic groups, Research Institute for Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz

Abstract- Relaxation oscillation frequency and damping rate are the important characteristics of vertical cavity surface emitting laser (VCSEL). These two parameters are important in the current modulation because of the laser output power depend on them. In this paper, the effect of current modulation on the relaxation oscillation frequency and characteristics of cavity Solitons have been studied. The influence of current modulation bandwidth in semiconductor lasers is studied at Soliton regime. Because of having higher optical gain in cavity Solitons comparing with ordinary points in transverse plane of semiconductor laser, better results are expected from current modulation response of cavity Solitons.

Keywords: Bandwidth, Relaxation Oscillation frequency, damping rate, Cavity Solitons, Current modulation.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]

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

1-مقدمه

پهنای باند یکی از مشخصه‌های لیزرهای نیم‌رساناست و توسط مدولاسیون تزریق خارجی در ماکزیمم فرکانس نوسانات واهلشی بهبود پیدا می‌کند. زمانی‌که یک نور خارجی در طول موجی نزدیک به طول موج لیزرزایی به درون کاواک تزریق می‌شود، قفل شدگی صورت می‌گیرد[۱]. که پهنای باند آن مقدار بیشتری نسبت به لیزر نوسان آزاد دارد. نامیزانی منشا زنش میان نور تزریق شده و میدان درون کاواک می‌شود که منجر به نوسانات واهلشی میرا (در ناحیه قفل شدگی) و نامیرا (در ناحیه قفل نشده) می‌شود[۲]. در لیزرهای نیم‌رسانا عملکرد مدولاسیون توسط تزریق پرتو همدوس خارجی به‌طور چشمگیری افزایش پیدا می‌کند، و برای سطوح به اندازه کافی بالا از تزریق مکانیسم نوسانات میرا شده تغییر می‌کند، بدین صورت که هر چه میزان تزریق افزایش یابد میرایی نوسانات هم افزایش می‌یابد[۳]. نرخ میرایی که از فرکانس نوسانات واهلشی مشتق می‌شود و دلیل آن خواص غیرخطی بهره‌ی نوری و پارازیت الکتریکی است که منجر به محدود کردن ماکزیمم فرکانس مدولاسیون می‌شود[۴].دلیل این نوسانات تبادل پریودیک انرژی بین فوتون‌ها و حاملین است(فوتون‌ها جذب می‌شوند و الکترون-حفره ایجاد می‌شود، الکترون-حفره‌ها بازترکیب می‌شوند و فوتون‌ها را ایجاد می‌کنند). فرکانس نوسانات واهلشی از این‌رو برای ما حائزاهمیت است که عوامل تحریک کننده لیزر با فرکانس آن‌ها نوید نتایج قابل توجهی است.همچنین تعیین کننده حد بالای پهنای باند است. لیزرهای نیم‌رسانا با یک پهنای باند مدولاسیون بالا در انتقال داده‌ها به‌صورت دیجیتال و آنالوگ پرکاربرد هستند[۵]. هر مشخصه از یک لیزر نیم‌رسانا با تزریق قفل شده بهبود پیدا می‌کند. به سبب تزریق خارجی قوی نویز کاهش می‌یابد. زمانی‌که پارامتر تزریق در تمامی ناحیه افزایش می‌یابد، افزایش پهنای باند و کاهش نویز پیدا می‌کند[۶].

در این مقاله جریان ۲۰ درصد بالای آستانه لیزرزایی در نظر گرفته شده است و تاثیر مدولاسیون جریان روی سالیتون‌های پایا و نوسانی مورد بررسی قرار داده شده است. فرکانس مدولاسیون را بر فرکانس نوسانات واهلشی تنظیم می‌کنیم، و به بررسی تاثیر آن بر بهبود پارامترهای سیستم می‌پردازیم.

۲-مدل

سیستم مورد مطالعه یک میکرو مشدد نیم‌رسانای فعال با سطح مقطع پهن، حاوی ساختار کوانتومی چندگانه است. رفتار دینامیکی سیستم‌های غیرخطی را می‌توان با معادلات ماکسول-بلاخ تعمیم یافته زیر تحلیل کرد[۷]. معادلات ماکسول-بلاخ تعمیم یافته سه معادله کوپل شده‌ی میدان الکتریکی، پلاریزاسیون و چگالی حاملین هستند[۹و۸]:

$$\partial E/\partial t = \sigma\left[P + E_i - (1+i\theta)E + i\nabla^2 E\right]$$

$$\partial P/\partial t = \Gamma(1+i\Delta)\left[(1-i\alpha)(1-\beta D)DE - P\right]$$

$$\partial D/\partial t = -b\left[\tfrac{1}{2}\left(E^*P + P^*E\right) + D - J - d\nabla^2 D\right]$$

که در آن E و P بسته های کند تغییر میدان الکتریکی و پلاریزاسیون موثر ماکروسکوپی بوده و D یک متغیر جمعیت با فزونی جمعیت حاملین نسبت به مقدار شفافیت است. β نشانگر ضریب برازش مرتبه دوم و θ نامیزانی کاواک است در حالی‌که α فاکتور بهبود یافته پهنای باند است. همچنین Δ و Γ نشان دهنده‌ی پذیرفتاری موثر می‌باشد. τ_d زمان واهلش دو قطبی در اثر پراکندگی داخل باندی است و σ و b آهنگ‌های واهلش هستند.

جدول ۱ مقادیر پارامترهای به‌کار رفته را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مقادیر پارامترها

مقادیر	پارامتر فیزیکی
0.052	d
4	α
0.0001	b
0.04	σ
100fs	τ_d
2.5ps	τ_p
-2	θ

زمانی‌که یک اختلال به‌صورت $e^{-\lambda t}$ به حالت پایای لیزر وارد می‌شود،به تحلیل پایداری آن می‌پردازیم. که منجر به حل دترمینان یک ماتریس به ازای ویژه مقدار λ که یک مقدار مختلط را نتیجه می‌دهد،می‌شود. که در ریاضیات این مقدار بیانگر نوسان در سیستم است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]

نوساناتی که در این حالت رخ می‌دهد نوسانات واهلشی است. که نوسانات هماهنگ میرا شده‌ای است که با وارد کردن اختلال به حالت پایای لیزر آزاد تزریقی ایجاد می‌شود.

مدولاسیون جریان، کنترل گذارهای ناخواسته‌ی ناشی از مدولاسیون مستقیم لیزر که همراه با نوسانات واهلشی قوی است، را نتیجه می‌دهد[۱].

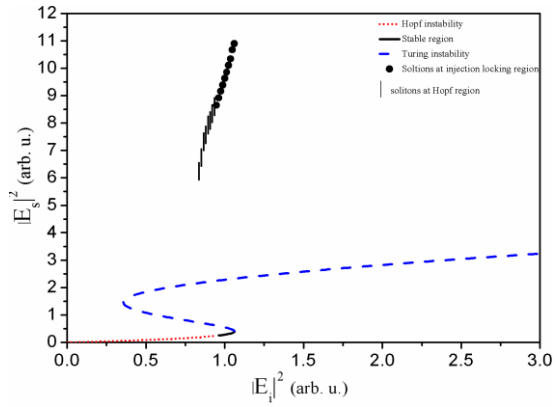
مدولاسیون جریان با اضافه کردن یک جریان سینوسی کوچک با فرکانس ν، که به یک جریان dc اضافه شده است که بالای آستانه لیزرزایی عمل می‌کند.

$$J_I = J_0 + J_b \sin^2(2\pi\nu t)$$

J_I جریان تزریقی، J_0 جریان پرتو ورودی که در این مقاله جریان ۲۰٪ بالای آستانه است، J_b دامنه جریان مدوله شده که مقدار آن کمتر از است.

۳- نتایج عددی

حالت پایای همگن با مساوی صفر قرار دادن جملات زمانی و لاپلاسی در معادلات ماکسول-بلاخ تعمیم یافته به‌دست می‌آید و با در نظر گرفتن تحلیل پایداری خطی منحنی میدان‌های ورودی و خروجی دوپایا خواهند بود، نمودار دوپایایی به همراه شاخه سالیتونی ۲۰٪ بالای آستانه که توسط جریان شبیه‌سازی شده است(شکل ۱ را ببینید) :



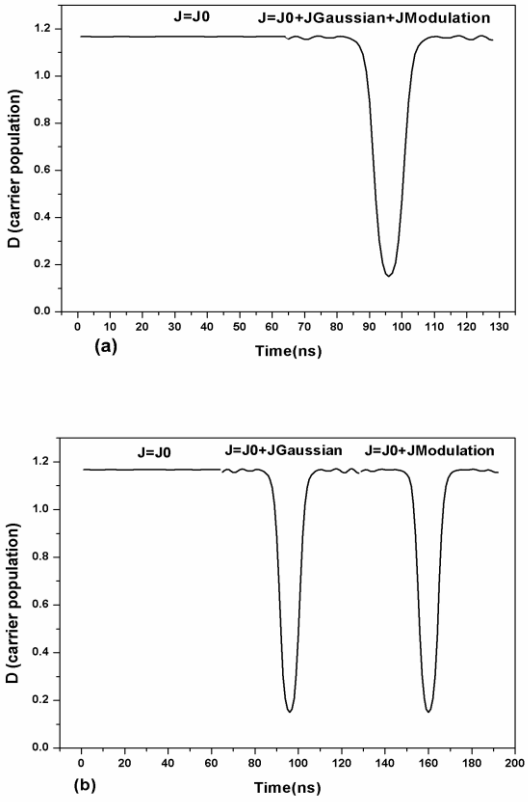
شکل۱: منحنی دوپایایی به‌همراه شاخه سالیتونی برای جریان ۲۰٪ بالای آستانه

شاخه سالیتونی شبیه‌سازی شده شامل سالیتون‌های پایا و نوسانی است.

ایجاد حفره درجمعیت حاملین برای نوشتن سالیتون‌ها ضروری است، که از بهره‌ی نوری بالای آن نقطه نسبت به اطراف به‌وجود آمده باشد. افزایش لیزرزایی از بهره نوری نتیجه می‌شود.

به‌خاطرهمین یک پالس می‌زنیم که جمعیت معکوس بیشتری ایجاد کنیم و این یعنی همان ایجاد حفره در حاملین. وقتی که سالیتون ایجاد می‌شود در محل تشکیل سالیتون‌ها یک حفره در جمعیت حاملین ایجاد می‌شود، به خاطر همین است که حاملین آن نقطه نسبت به اطرافشان بیشتر در لیزرزایی شرکت می‌کنند.

ایجاد حفره در جمعیت حاملین سالیتون‌های کاواک شبیه‌سازی شده توسط مدولاسیون جریان با استفاده از جریان گاوسی است(شکل ۲ را ببینید):



شکل۲: تحول زمانی حاملین سالیتون‌های شبیه‌سازی شده توسط جریان گاوسی و مدولاسیون جریان اعمال شده است.

قسمت (a) بیانگر اینست که جریان گاوسی و مدولاسیون جریان همزمان اعمال شده است با قسمت (b) شکل که ابتدا جریان گاوسی و سپس مدوله صورت گرفته است نتایج یکسانی است.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]

پهنای باند که به‌صورت پهنای فرکانسی وقتی $3dB$ پایین‌تر از پیک نمودار دامنه باشد، تعریف می‌شود.
مقایسه پهنای باند محاسبه شده از دو روش مدولاسیون جریان و پرتو نگه‌دارنده(جدول ۲ را ببینید):

جدول ۲: پهنای باند محاسبه شده از دو روش مدولاسیون جریان و پرتو نگه‌دارنده

مدولاسیون	فرکانس رزونانس	پهنای باند
جریان روی سالیتون‌های نوسانی	۸۵گیگا هرتز	۱۰گیگا هرتز
جریان روی سالیتون‌های پایا	۸۰گیگا هرتز	۹گیگا هرتز
پرتونگه‌دارنده روی سالیتون‌های نوسانی	۱۱۸گیگاهرتز	6گیگا هرتز
پرتونگه‌دارنده روی سالیتون‌های پایا	۱۱۵گیگاهرتز	۵,۸گیگا هرتز

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدولاسیون جریان روی سالیتون‌ها اعمال شد که منجر به ایجاد حفره در جمعیت حاملین می‌گردد که گواهی بر پایدار ماندن سالیتون‌ها می‌باشد. فرکانس نوسانات واهلشی محاسبه شده که فرکانس مدولاسیون بر فرکانس این نوسانات تنظیم می‌گردد و مشاهده می‌شود که پهنای باند توسط مدولاسیون جریان بهبود پیدا می‌کند.

مراجع

[1] B. Moeyersoon , G. Morthier , “Influence of a holding beam on the direct modulation behavior of semiconductor lasers” SPIE Vol.5452,546-552, 2004.

[2] M. Eslami, R. Kheradmand, K. Aghdam, “Complex behavior of vertical cavity surface emitting lasers with optical injection”, Phys. Scr.T154, 2013.

[3] B. Moeyersoon, G. Morthier, “Influence of a holding beam on the direct modulation behavior of semiconductor lasers,” SPIE, vol.5452, 2004.

[4] X. Hachair and et.al, Phys. Rev.A 69, 043817, 2004.

[5] T. B. Simpson, J. M. Liu, “Enhanced Modulation Bandwidth in Injection-Locked Semiconductor Lasers,” IEEE, vol. 9,NO. 10, 1997.

[6]] J. M. Liu, H. F. Chen, X. J. Meng, and T. B. Simpson, “Modulation Bandwidth, Noise, and Stability of a Semiconductor Laser Subject to Strong Injection Locking,” IEEE, vol. 9, NO. 10, 1997.

[7] G. P. Agrawal and et al, “Semiconductor laser dynamics beyond the rate equation approximation”, Optic Communication, vol.119, 246-255, 1995.

[8] R. Kheradmand et al, “Cavity Solitons in a Driven VCSEL above threshold”, Top. Quant. Electron, IEEEJ. Sel. 12339, 2006.

[9] R. Kheradmand, M.Eslami,”Coherent and Incoherent switching on/off of Cavity soliton in a VCSEL with nonlinear gain”, OSA ,2012.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02]