

مطالعه تاثیر مدولاسیون جریان پمپاژ بر تحرک لیزر سالیتونهای کاواک نیم رسانا

سحر زمانی گندمانی، منصور اسلامی، رضا خردمند

گروه فوتونیک، پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده - پاسخ مدولاسیونی لیزر سالیتونهای کاواک در لیزر نیم رسانا با جاذب اشباع پذیر مطالعه و بررسی شده است. شبیه سازی ها نشان می دهد که دو قله رزونانس در پاسخ مدولاسیونی این لیزر سالیتون ها وجود دارد و تمامی قله های بعدی تنها هارمونیک هایی از این دو فرکانس هستند. با استفاده از پارامتر کنترلی مربوط به نسبت طول عمری فوتون ها به حاملین در دو ماده جاذب و فعال، رفتار لیزر سالیتون های کاواک حرکتی مطالعه شدند. ارتقا تحرک آنها در اثر مدولاسیون و به خصوص در فرکانس های رزونانس مشاهده شده و اختلاف سرعت ایجاد شده در اثر مدولاسیون با فرکانس قله دوم (۱۴.۸۵ گیگاهرتز) با حالت بدون مدولاسیون مقایسه شده است.

کلید واژه- پهنای باند، سالیتون حرکتی، مدولاسیون

The effect of pump current modulation on the mobility of Laser Cavity Solitons

Sahar Zamani Gandomani, Mansour Eslami, Reza Kheradmand

Photonics group, Research Institute for Applied Physics and Astronomy, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract- modulation response of Laser Cavity Solitons (LCSs) in lasers with saturable absorbers is investigated. Simulations show that two resonance peaks are available in the modulation response of these LCSs and the following peaks are just the harmonics of the first two. Using the control parameter related to the life ratio of photons to carries in absorber and amplifier media, the behavior of the LCSs is studied. It is shown that the mobility of LCSs in response to modulations is enhanced and this is remarkable when the modulation frequency coincides with that of the resonance. Also, a comparison is made for the velocity in the case of no-modulation and modulation with the frequency of the second peak (2.91 GHz).

.

Keywords: bandwidth, moving soliton, modulation

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

۱- مقدمه

در یک سیستم غیرخطی، مدولاسیون پارامترهای مختلف منجر به اثرات دینامیکی گوناگونی خواهد شد. چنین اثراتی زمانی مورد توجه بیش تری قرار می گیرند که سیستم غیرخطی پاسخی رزونانسی به فرکانس محرک بدهد و نوسانات آن با نوسانات واهلشی ذاتی سیستم هماهنگ باشد (یا با هارمونیک های اصلی یا فرعی آن) [۱]. فرکانس نوسانات واهلشی در لیزر بدون تزریق خارجی عموماً بین ۱۰ تا ۲۰ گیگاهرتز است که این گستره کوچک سبب محدودیت در پاسخ فرکانسی و به تبع آن محدودیت در انتقال و پردازش داده ها خواهد شد [۲]. حل این مشکل با تزریق خارجی ممکن است. این تزریق، فرکانس نوسانات واهلشی را به طور وسیعی افزایش داده است تا جایی که مقادیر آن به بالاتر از ۱۰۰ گیگاهرتز در آن سوی نقطه قفل شدگی تزریق، می رسد [۳،۲]. خاطرنشان می سازد که فرکانس نوسانات واهلشی خصیصه ای مربوط به لیزر نیم رسانای تزریق شده است و فقط بعد از ناحیه ناپایداری هوپف میرا می شود [۴]. به علاوه در ساختارهای جایگزیده فضایی شکل گرفته در یک لیزر نیم رسانا با تزریق خارجی (لیزر سالتون کاواک) که در منطقه ناپایداری هوپف سوئیچ شده است، نوسانات واهلشی نامیرا دلیل افت و خیزهای دامنه و فاز است [۵]. این نتایج می تواند منجر به طرح های پیشنهادی متعددی شوند هم چون استفاده از لیزرهای سالتون کاواک برای پردازش موازی باریکه ها با فرکانس های مدولاسیون بسیار سریع تر نسبت به قبل [۲] و دمدولاتورهای دیفرانسیلی شیفیت فازی با نرخ بیت بالا.

ازطرفی حذف تزریق خارجی می تواند درجات آزادی بیشتری از جمله انتخاب فاز، پلاریزاسیون و فرکانس کاری در دسترس لیزر قرار دهد. یکی از مطرح ترین سیستم ها در این پیکربندی لیزر نیم رسانا با جاذب اشباع پذیر است. در این پژوهش برآنیم تا با مدولاسیون مستقیم جریان پمپاژ در لیزر نیم رسانای با جاذب اشباع پذیر پاسخ فرکانسی سالتون های سیستم را برای فرکانس های مختلف و برای نسبت حاملین بار مختلف بیابیم. هم چنین وجود دو ماده جاذب و فعال با نسبت طول عمر فوتون به حامل متفاوت، باعث ناپایداری هایی از جمله ناپایداری حرکتی برای سالتون های این سیستم

می شود. بررسی تاثیر این مدولاسیون را بر سرعت حرکت سالتون های ناحیه ی حرکتی از جمله مطالب مطرح شده در این مقاله است.

۲- مدل

معادلات حاکم بر دینامیک لیزر سالتون کاواک از نوع لیزر سطح گسیل با کاواک قائم حاوی جاذب اشباع پذیر به صورت زیر می باشد [۷].

$$\dot{F} = [(1-i\alpha)D + (1-i\beta)d - 1\nabla_{\perp}^2]F \quad (۱)$$

$$\dot{D} = b_1[\mu - D(1+|F|^2) - BD^2] \quad (۲)$$

$$\dot{d} = b_2[-\gamma - d(1+s|F|^2) - Bd^2] \quad (۳)$$

F دامنه ی کند تغییر میدان الکتریکی درون کاواک است، D و d متغیرهای مربوط به جمعیت حاملین بار به ترتیب در محیط های بهره و جاذب هستند که

$$d = \eta_1 \left(\frac{N_2}{N_{0,2}} - 1 \right) \quad \text{و} \quad D = \eta_2 \left(\frac{N_1}{N_{0,1}} - 1 \right)$$

که η_i ضریب بدون بعدی است که به صورت

$$\eta_i = \frac{a_i L_i N_{i,0}}{T}, i=1,2$$

چگالی حاملین بار در محیط فعال (غیرفعال) است.

$N_{1,0}$ ($N_{2,0}$) مقدار جمعیت شفافیت در محیط فعال

(غیرفعال) است. a_i بهره دیفرانسیلی، L_i ضخامت ماده

i ام، T عبوردهی موثر آینه است، α فاکتور افزایش

پهنای خط در محیط بهره، b_1 نسبت طول عمر فوتون در

کاواک به طول عمر غیر نوری حاملین $\frac{\tau_{ph}}{\tau_{nr}}$ در محیط

بهره، β فاکتور افزایش پهنای خط در محیط جاذب،

b_2 نسبت طول عمر فوتون در کاواک به طول عمر غیر

نوری حاملین $\frac{\tau_{ph}}{\tau_{nr}}$ در محیط جاذب، B ضریب

$$s = \frac{a_2 b_1}{a_1 b_2}$$

بازترکیب نوری حاملین بار در نیم رسانا، پارامتر اشباع، μ پارامتر دمش جریان الکتریکی در

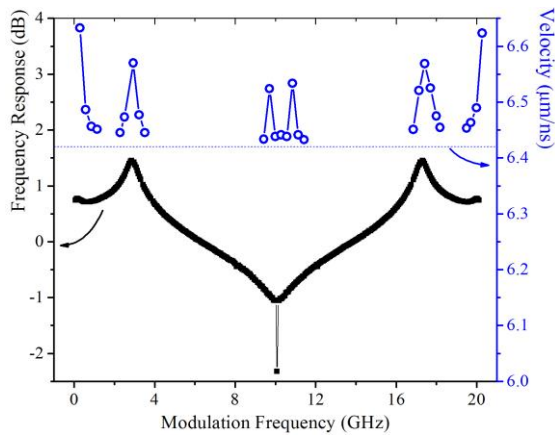
محیط بهره و γ پارامتر جذب در محیط جاذب اشباع

پذیر است.

۳- نتایج

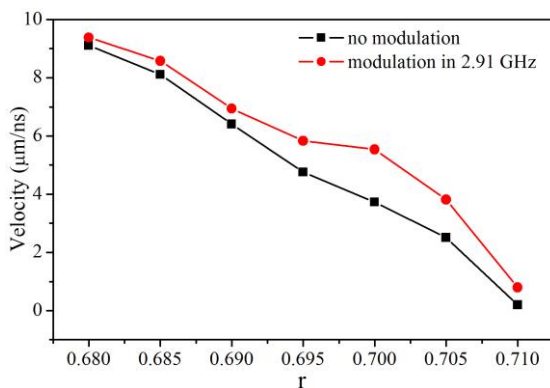
جهت مدولاسیون از تابع زیر برای جریان ورودی لیزر

استفاده شده است:



شکل ۲: نمودار مقایسه ای سرعت سالیتون و پاسخ فرکانسی. سرعت سالیتون در حالت بدون مدولاسیون با نقطه چین افقی آبی رنگ مشخص شده است.

افزایش سرعت حرکت سالیتون به واسطه مدولاسیون با فرکانس رزونانس سیستم و نیز روند کاهشی سرعت نسبت به افزایش پارامتر کنترل مربوط به نسبت طول عمر فوتون به حاملین در ماده جاذب و فعال در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان گونه که از شکل قابل استنباط است مدولاسیون در همه r ها منجر به افزایش سرعت می گردد و اما تاثیر آن در سالیتون هایی که به طور خود به خودی سریع تر هستند کم تر نمود دارد. ولی در سالیتون های نسبتاً کند $r \geq 0.7$ تاثیر مدولاسیون در افزایش سرعت قابل ملاحظه تر است و رفته رفته با کند شدن سالیتون مجدداً مدولاسیون تاثیری چشمگیری بر سرعت سالیتون نخواهد داشت.



شکل ۳: نمودار سرعت سالیتون برای فرکانس های مختلف، قبل و بعد از مدولاسیون.

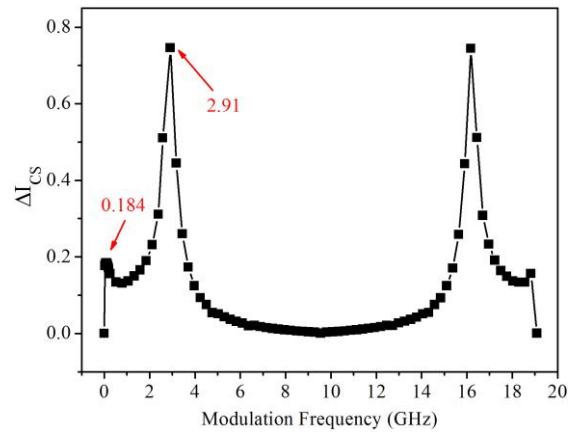
۴- نتیجه گیری

با مطالعه پاسخ فرکانسی لیزر نیم رسانا با جاذب اشباع پذیر، دو قله در پاسخ رزونانسی سالیتون ها بدست آمد. این درحالی است که در سیکل مربوط به پاسخ فرکانسی تماس قله ها هارمونیک های این دو فرکانس بوده و تاثیر

$$\mu = \mu_0[1 + m\sin(\omega t)] \quad (4)$$

در رابطه ی ۴، $\mu_0 = 5$ و $m = 0.015$ در نظر گرفته شده است.

پس از مدولاسیون جریان با فرکانس های متفاوت، نمودار پاسخ فرکانسی به صورت شکل (۱) در می آید:



شکل ۱: نمودار شدت برحسب فرکانس برای مقادیر $r = 0.695$ و $b_1 = 0.01$

در شکل (۱) یک دوره تناوب مربوط به $r = 0.695$ به ازای مقدار ثابت $b_1 = 0.01$ نشان داده شده است. فرکانس هایی که به ازای آن ها مقادیر بیشینه شدت ایجاد شده اند در واقع فرکانس تشدید هستند. همانطور که دیده می شود در یک دوره تناوب پهنای فرکانسی تقارن مشخصی در محل فرکانس های رزونانس دیده می شود. در واقع تمامی قله از هارمونیک های دو فرکانس رزونانس اول در 0.184 و 2.91 گیگاهرتز تشکیل شده اند.

مقادیر انتخابی r و μ در ناحیه سالیتون های حرکتی است و مدولاسیون سالیتون با فرکانس های رزونانس به دست آمده طبق شبیه سازی های انجام شده منجر به ایجاد بیشینه سرعت در حرکت سالیتون می شود. در نمودار لگاریتمی تهیه شده از پاسخ فرکانسی این نقاط به صورت دره های تیزی نمایان شدند.

وقتی سیستم با فرکانس رزونانس خود در حال مدوله شدن است، پاسخ محیط بهره و محیط جاذب متفاوت است که به مقیاس زمانی متفاوت متغیرهای دو محیط بهره و جاذب برمی گردد، این اختلاف منجر به ایجاد گرادیان می شود که عامل ایجاد افزایش سرعت سالیتون های کاواک است.

دینامیکی مشابهی با آنها دارد. همچنین با تحریک مدولاسیونی سیستم با فرکانس های مختلف رفتار سالیتون های حرکتی بررسی شد و بدست آمد که سالیتون ها در اثر مدولاسیون تحرک بیشتری از خود نشان می دهند و این تحریک در قله های بدست آمده (تحریک رزونانسی) بیشترین مقدار را دارد. هم چنین سرعت حرکت سالیتون را در حالت بدون مدولاسیون و مدوله شده با فرکانس قله دوم (۲.۹۱ گیگاهرتز) با یکریگر مقایسه و مشاهده کردیم که این اختلاف سرعت برای میانه های بازه ناپایدار چشمگیرتر است. کنترل سرعت لیزر سالیتون های کاواک حرکتی در حین کار می تواند در کاربردهای پردازشی سالیتون های کاواک به عنوان بافرهای نوری بسیار نافع باشد. چرا که کنترل حرکت آن ها به وسیله پارامتر دوشاخگی مربوط به نسبت طول عمرها (که عامل گذار به ناحیه ناپایدار حرکتی است) تنها حین رشد بلور نیمرسانا میسر است و در حین کار لیزر این امر مستلزم تغییرات جریان پمپ می باشد که این رهیافت نیز به نوبه خود پیچیدگی های عملی بیشتری بر کاربر تحمیل خواهد کرد.

مراجع

- [1] N. B. Abraham, F. T. Arecchi, and L. A. Lugiato, *Instabilities and Chaos in Quantum Optics II*, NATO ASI series, Series B: Physics **177**, 1987.
- [2] S. Wieczorek, W. Chow, L. Chrostowski, and C. J. Chang Hasnain, "Improved semiconductor-laser dynamics from induced population pulsation", *IEEE J. of Quant. Electron.* **42**, 552-562, 2006.
- [3] E. K. Lau, X. Zhao, H.-K. Sung, D. Parek, C. Chang Hasnain, and M. C. Wu, "Strong optical injection-locked semiconductor lasers demonstrating >100-GHz resonance frequencies and 80-GHz intrinsic bandwidths", *Opt. Express*, **16**, 6609-6618, 2008.
- [4] S. Wieczorek, B. Krauskopf, T. B. Simpson, and D. Lenstra, "The dynamical complexity of optically injected semiconductor lasers", *Physics Reports* **416**, 1-128, 2005.
- [5] M. Eslami, R. Kheradmand, and K. M. Aghdami, "Complex behavior of vertical cavity surface emitting lasers with optical injection", *Phys. Scr.T* **157**, 014038, 2013.
- [6] S. Ahmadipناه, R. Kheradmand, and F. Prati, "Enhanced Resonance Frequency and Modulation Bandwidth in a Cavity Soliton Laser", *IEEE Photon. Tech. Lett.* **26**, 1038-1041, 2014.
- [7] F. Prati, P. Caccia, G. Tissoni, L. A. Lugiato, K. M. Aghdami, H. Tajalli, "Effects of carrier radiative recombination on a VCSEL-based cavity soliton laser", *Appl. Phys.* **B88**, 405-410, 2007.