



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



## کنترل ناپایداری در لیزر نیمه رسانا با استفاده از کنترل کننده PID

### براساس الگوریتم ژنتیک

اکبر جعفری، خسرو مبهوتی، رقیه حسین پور  
گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه

چکیده- در این مقاله روش جدیدی از فرآیند کنترل بر روی لیزر نیمه‌رسانا مطالعه شده است. در این روش معادلات مربوط به کنترل کننده تناسبی-انتگرالی-مشتق گیر (PID) در معادلات نرخ لیزر جایگذاری شده و با استفاده از الگوریتم ژنتیک ضرایب این معادلات اصلاح و تکمیل می شود. با استفاده از این رابطه اصلاح شده بهترین شرایط کارکرد در لیزر فراهم می گردد. نتایج عددی بدست آمده نشان می دهد که پس از اعمال فرآیند کنترل، خروجی لیزر گیرنده اصلاح شده و دینامیک خروجی لیزر گیرنده متناسب با لیزر فرستنده می گردد.

کلیدواژه- تزریق اپتیک، کنترل تناسبی، لیزر نیمه رسانا.

## Control of instability in a the semiconductor laser by using a PID controller based on Genetic Algorithm

Akbar Jafari, Khosro Mabhouti, Roghayeh Hosseynpour

Physics Department, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia

Abstract-. In this paper, the new method of control process is studied. In this method, the equations of PID controller is replaced in the laser rate equations and by using the genetic algorithm, the coefficients of this equations are completed. By using of this improved relations, the best condition of the laser operation has provided. The numerical results showed that after applying the control method, the output of the slave laser is improved and it cause to the output dynamics of slave laser is proportional to the master laser.

Keywords: Optical Injection, PID controller, Semiconductor Laser

## ۱- مقدمه

## ۲- مدل ریاضی

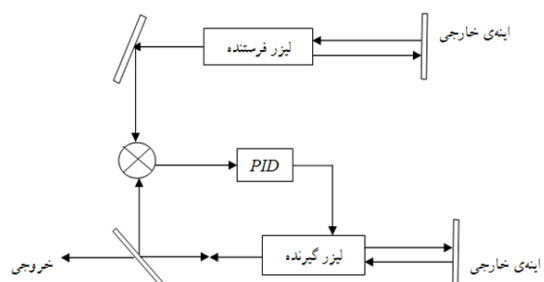
در حالت بی بعد میتوان از معادلات لانگ-کابایاشی برای توصیف دینامیک لیزرهای نیمه‌رسانا با کاواک خارجی استفاده کرد که میتوان آنها را به صورت زیر نوشت [۶ و ۷]:

$$\frac{dE_m}{dt} = (1 + i\alpha)NE_m + \eta_m E_m (t - \tau)e^{-iC_p} \quad (1)$$

$$\frac{dE_s}{dt} = (1 + i\alpha)NE_s + \eta_s E_s (t - \tau)e^{-iC_p} + \beta E_m(t) \quad (2)$$

$$T \frac{dN_{m,s}}{dt} = P - N_{m,s} - (1 + 2N_{m,s})|E_{m,s}|^2 \quad (3)$$

در روابط فوق اندیس  $m$  و  $s$  به ترتیب نشانگر لیزر فرستنده و گیرنده می‌باشد که در آنها،  $E$  میدان الکتریکی بهنجار شده،  $N$  وارونی انبوهی،  $\alpha$  فاکتور پهن شدگی،  $\eta$  شدت پس‌خوراند،  $C_p$  فاز پس‌خوراند،  $\beta$  شدت پرتو تزریقی،  $T$  نسبت بین طول عمر کاواک به طول عمر حامل بار الکتریکی (الکترون)،  $P$  میزان جریان دمش شده (پارامتر پمپ) و  $\tau$  میزان تاخیر زمانی در کاواک خارجی می‌باشد. در محاسبات از پارامترهای کاواک کوتاه به صورت  $T = 1710$  و  $\tau = 70$  استفاده شده است. آرایش هندسی لیزرهای گیرنده و فرستنده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- آرایش هندسی لیزرهای گیرنده و فرستنده لیزری

## ۳- معرفی فرآیند کنترل

قبل از طراحی یک کنترل کننده مناسب، ابتدا سیگنال خطا را به صورت زیر تعریف میکنیم:

$$e = E(m) - E(s) \quad (4)$$

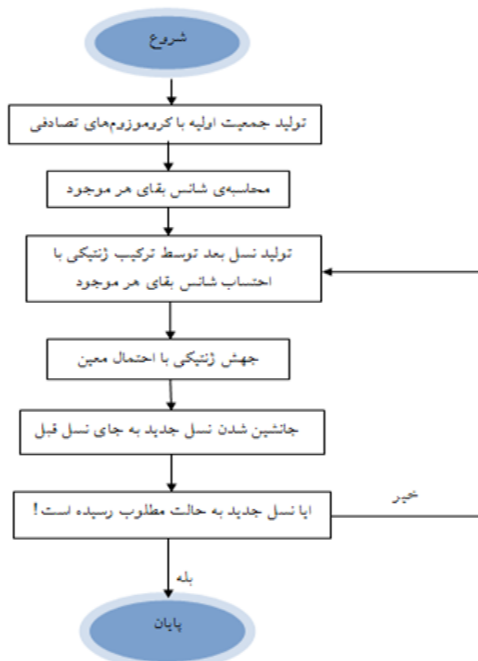
برای یک کنترل کننده  $PID$  فرمول عمومی معادله به صورت زیر داده میشود:

$$u = k_p e + k_i \int e dt + k_d \frac{de}{dt} \quad (5)$$

لیزرهای نیمه رسانا به صورت گسترده ای به عنوان منابع نوری همدوس در کاربردهای تکنولوژیکی مانند؛ انتقال نوری اطلاعات با حجم بالا، فرآیندهای نوری فوق سریع، مخابرات نوری و تولید پرتوهای آشوبناک در مخابرات امن مورد استفاده قرار می گیرند [۲۱ و ۲]. در سیستم های مخابراتی با جفت کردن دو لیزر نیمه رسانای متشابه به یکدیگر می توان مجموعه ای از لیزرهای گیرنده و فرستنده اطلاعات را در نظر گرفت. به طور کلی اگر دو سیستم غیرخطی بطور مستقل عمل کنند آن دو سیستم هرگز خروجی مشابهی نخواهند داشت. با این حال اگر یک جزء کوچکی از خروجی بی نظم یک سیستم غیرخطی به سیستم غیر خطی دیگر فرستاده شود، دو سیستم می توانند تحت شرایطی متناسب با یکدیگر عمل کرده و خروجی یکسانی داشته باشند. این در حالی است که وقتی یک لیزر نیمه رسانا تحت تاثیر یک یا چند منشاء آشفتگی مانند؛ پس خوراند اپتیکی و تزریق اپتیکی قرار می گیرد دارای دینامیک غیرخطی و ناپایدار می شود [۳]. از دیدگاه فرآیند کنترل طبیعت دینامیکی سیستم ها دائما در حال تغییر است. این موجب میشود ابزاری نیاز باشد تا بتوان به طور موثر متغیرهای مورد نظر را مشخص نموده و آنها را تحت کنترل قرار داد. در این مقاله با استفاده از کنترل کننده تناسبی-انتگرالی- مشتق گیر (PID) [۴] تلاش شده است تا دینامیک خروجی لیزر گیرنده به نحوی تغییر یابد تا مشابه با دینامیک خروجی لیزر فرستنده گردد. کنترل کننده تناسبی کامل ترین ترکیب کنترل کننده پارامترهای خروجی سیستم می باشد که در آن هر کدام از ضرایب کنترلی با احتساب ضریب تاثیرگذاری با یکدیگر جمع و به ورودی سیستم اعمال می شوند. در این فرآیند پارامتر کنترل مقدار پرتو تزریقی از لیزر فرستنده به لیزر گیرنده خواهد بود. در فرآیند کنترلی انتخاب شده برای طبق و اصلاح پارامترهای کنترلگر تناسبی از الگوریتم رشد جمعیتی ژنتیکی [۵] استفاده شده است. این الگوریتم همانطور که در قسمت نتایج نشان داده شده است میتواند به طور موثری در کنترل دینامیک خروجی لیزر گیرنده عمل نماید.

جمعیت در اختیار فرایند تکامل قرار می‌گیرند. نحوه‌ی عملکرد الگوریتم ژنتیک مطابق چرخه‌ی زیر می‌باشد:

ابتدا کلیه‌ی افراد موجود در جمعیت ارزیابی شده سپس افراد جدید با استفاده از عملگرهای تلفیق و جهش تولید می‌شوند، افراد تکراری از جمعیت جدید حذف می‌گردند. یک تکرار از این حلقه‌ای که تعریف کردیم تحت عنوان ایجاد یک نسل شناخته می‌شود. اولین نسل از این فرایند به صورت تصادفی ایجاد می‌شود بعد از آن عملگرهای ژنتیک با اندازه‌گیری میزان شایستگی آنها جمعیت را از نظر کارایی برای حل مساله مورد ارزیابی قرار می‌دهند.



شکل ۲- فلوچارت نحوه عملکرد الگوریتم ژنتیک

## ۵- حل عددی معادلات و توصیف نتایج

در این بخش نشان می‌دهیم که چگونه کنترل‌کننده‌ی مورد استفاده‌ی ما بر اساس الگوریتم ژنتیک برای هماهنگ کردن دو لیزر نیمه‌رسانای یکسان کارایی مناسب را دارا می‌باشد. بر طبق الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه‌ی را بر اساس دنباله‌ی تصادفی انتخاب کردیم. نرخ اولیه جمعیت را برابر ۳ گرفتیم و نرخ جهش را ۰/۰۲. سپس با اجرای مراحل این الگوریتم در برنامه‌ی متلب نتایج زیر بدست آمد:

شکل ۳- منحنی همگرایی تابع هدف را نسبت به حلقه الگوریتم تکرار نشان می‌دهد. همانطور که از این شکل مشاهده می‌کنیم منحنی پس از تقریباً ۲۷ تکرار همگرا می‌شود و ماکزیمم تعداد تکرار ۴۰ می‌باشد. به بیان دیگر

که در آن ضرایب  $k_p$  افزایش تناسبی و  $k_I$  افزایش انتگرالی و  $k_d$  افزایش مشتقی است. برای طراحی یک کنترل‌کننده معیار عملکرد یا تابع هدف می‌تواند با توجه به محدودیت‌ها یا مشخصات مورد نظرمان تعریف شود. به منظور اندازه‌گیری عملکرد لیزر نیمه‌رسانا در این جا شاخص عملکرد انتگرال قدر مطلق خطا را به عنوان تابع هدف در نظر می‌گیریم:

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (۶)$$

در واقع تابع هدف به افزایش پارامترهای  $k_p$  و  $k_I$  و  $k_d$  بستگی دارد. در اینجا هدف به دست آوردن کوچکترین مقدار (IAE) می‌باشد تا بدین طریق بتوان کمترین مقدار را برای تابع هدف بدست آورد. بدین منظور با انتخاب مقادیر اولیه برای پارامترهای کنترل-کننده یک ورودی به حلقه بسته کنترلی اعمال شده و منحنی خطای سیستم برای مدت زمان مشخصی ثبت می‌شود. حال به کمک مقادیر خطای ثبت شده، شاخص IAE محاسبه می‌گردد. مقدار این شاخص بدست آمده متناسب با انتخاب مقادیر اولیه پارامترهای کنترل‌کننده است. بار دیگر با تغییر پارامترهای کنترل‌کننده موارد فوق تکرار شده و مقدار جدید شاخص IAE محاسبه می‌شود. این فرآیند تا جایی تکرار می‌شود که کمترین مقدار شاخص IAE به ازای مقادیر مشخصی از پارامترهای کنترل‌کننده به دست آید. آنگاه این مقادیر تنظیم بعنوان مقادیر بهینه پارامترها به کنترل‌کننده واقعی اعمال می‌شود.

## ۴- بهبود طراحی کنترل‌کننده بر اساس

### الگوریتم ژنتیک

معادلات لیزری که در اینجا استفاده کردیم غیرخطی هستند. برای استفاده از کنترل‌کننده‌ی PID باید این فرمول‌ها خطی‌سازی شوند. به منظور بالا بردن دقت کار و به دست آوردن نتیجه‌ی مطلوب از کنترل‌کننده‌ی PID از روشی استفاده می‌کنیم که بر پایه‌ی برنامه نویسی AG (الگوریتم ژنتیک) است که در کلاس برنامه نویسی‌های غیرخطی (NLP) قرار دارد. الگوریتم ژنتیک که رفتار آن از مکانیسم تکامل در طبیعت الهام گرفته شده با ایجاد جمعیتی از افراد که هر یک در قالب کروموزوم ارایه می‌شوند، پیاده‌سازی می‌گردد. سپس جمعیت موجود در

اپتیکی ناپایدار و غیر پریودیک می باشد. اما همانطور که مشاهده می شود، در مطابقت با شکل ۲ با گذشت زمان و ترمیم مقادیر ضرایب کنترلگر این نوسانات نا منظم به نوسانات پریودیک و منظم تغییر می باشد. در نهایت می توان مشاهده کرد که دینامیک لیزر گیرنده کنترل گردیده و مشابه با دینامیک لیزر فرستنده می باشد.

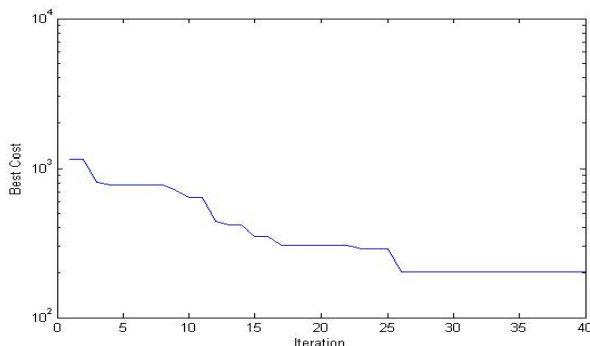
## ۶- نتیجه گیری

بررسی های انجام شده بر روی فرآیند کنترل دینامیک لیزر گیرنده نشان می دهد که کنترل کننده ی تناسبی  $PID$  می تواند عملکرد قابل قبولی را به نمایش بگذارد. در واقع تحت اثر تزریق اپتیکی است که لیزر گیرنده در مقایسه با لیزر فرستنده دینامیک متفاوت و ناپایداری را از خود نشان میدهد. در نتیجه می توان با انتخاب مقدار تزریق اپتیکی به عنوان پارامتر کنترل، شرایط جدیدی را فراهم آورد تا لیزر گیرنده را به سمت نوسانات پریودیک و پایدار سوق داد. به منظور اصلاح مقادیر ضرایب کنترلگر تناسبی نشان داده شد که الگوی بهینه سازی رشد جمعیت الگوریتم ژنتیک به خوبی می تواند عمل نماید. البته همانطور که در شکل ۲ مشاهده شد، الزام اعمال فرآیند کنترل مطلوب نیازمند گذشت زمان خواهد بود. این بازه ی زمانی در واقع زمانی خواهد بود که الگوریتم ژنتیک مقادیر ضرایب کنترلگر تناسبی را ترمیم نموده و در هر مرحله به نسبت بازخورد دریافت شده از تحولات دینامیکی هر دو لیزر مناسبترین مقدار را انتخاب نماید. در نهایت مشاهده شد که بر اساس نتایج حاصله از شکل های ۲ و ۵ بعد از ۴۰ بار تکرار به منظور اصلاح ضرایب کنترلگر که مقدار پرتوی تزریقی را کنترل می نماید، نوسانات لیزر گیرنده نهایتاً مشابه با نوسانات لیزر گیرنده می گردد.

## مراجع

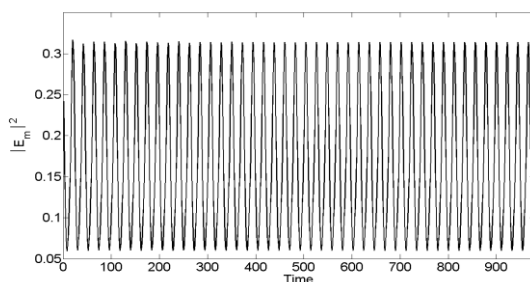
- [1] S. Banerjee, L. Rondoni, S. Mukhopadhyay, AP. Misra, Optics Communications **284**, 2278 (2011).
- [2] J. Ohtsubo "Semiconductor Lasers Stability Instability and Chaos" Springer, New York, (2005).
- [3] S. Tang, JM. Liu , IEEE Journal of Quantum Electronics **37**, 329 (2011).
- [4] Y. Tang, M. Cui, Ch. Hua, L. Li, Y. Yang, Expert Systems with Applications **39**, 6887(2012).
- [5] M. A. Khansary, A. H. Sani, Fluid Phase Equilibria, **365**, 141 (2014).
- [6] R. Lang and K.Kobayashi, IEEE J. Quantum Electron. **16**, 347 (1980).
- [7] K. Green, Phys. Rev. E **79**, 036210 (2009).

مجموعه کنترلر گر PID پس از ۲۷ بار اجرای حلقه ترمیمی می توان بهترین عملکرد را از خود به نمایش بگذارد و خروجی لیزر فرستنده را به صورت مطلوبی تنظیم نماید.

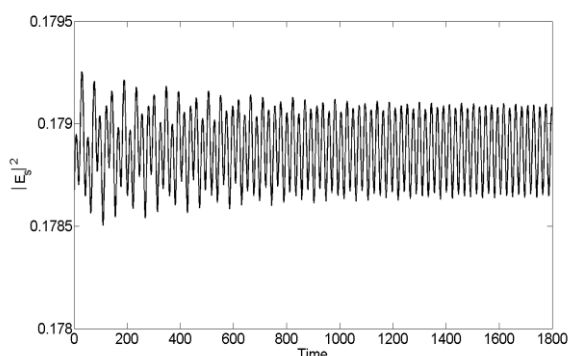


شکل ۳- منحنی همگرایی تابع هدف

برای مشاهده نحوه عملکرد کنترلگر PID در ادامه به مطالعه منحنی های زمانی لیزر گیرنده و لیزر فرستنده می پردازیم. در ابتدا برای لیزر فرستنده دینامیک پریودیک تک مد را در نظر می گیریم (شکل ۴).



شکل ۴- منحنی تحول زمانی شدت خروجی لیزر فرستنده



شکل ۵ - منحنی تحول زمانی شدت خروجی لیزر گیرنده با تزریق این دینامیک از لیزر فرستنده به لیزر گیرنده به مطالعه نحوه عملکرد لیزر گیرنده می پردازیم. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود، در ابتدا برای زمانی که کنترلگر تناسبی مقادیر بهینه ضرایب را کسب ننموده است، دینامیک خروجی لیزر گیرنده تحت اثر تزریق