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 کننده‌ی تناسبی– انتگرالی– مشتق‌گیر (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.

کلید واژه- تزریق اپتیکی، 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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

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

۱- مقدمه

لیزرهای نیمه رسانا بـه صـورت گسـترده ای بـه عنـوان منابع نوری همـدوس در کاربردهـای تکنولـوزیکی ماننـد؛ انتقال نوری اطلاعات با حجم بالا، فرآیندهای نـوری فـوق سـریع، مخـابرات نـوری و تولیـد پرتوهـای آشـوبناک در مخابرات امن مـورد اسـتفاده قـرار مـی گیرنـد [۱و۲]. در سیستم های مخابراتی با جفت کردن دو لیزر نیمه رسانای متشـابه بـه یکـدیگر مـی تـوان مجموعـه ای از لیزرهـای گیرنده و فرستنده اطلاعات را در نظر گرفت. به طور کلـی اگر دو سیستم غیرخطی بطور مستقل عمـل کننـد آن دو سیستم هرگز خروجی مشـابهی نخواهنـد داشـت. بـا ایـن حال اگر یک جزء کوچکی از خروجی بی نظم یک سیستم غیرخطی به سیستم غیر خطـی دیگـر فرسـتاده شـود، دو سیستم می توانند تحت شرایطی متناسب با یکدیگر عمل کرده و خروجی یکسانی داشته باشند. این در حالی اسـت که وقتی یک لیزر نیمه رسـانا تحـت تـاثیر یـک یـا چنـد منشاء آشفتگی مانند؛ پس خوراند اپتیکی و تزریق اپتیکی قـرار مـی گیـرد دارای دینامیـک غیرخطـی و ناپایـدار می شود [۳] . از دیدگاه فرآیند کنترل طبیعت دینـامیکی سیستم ها دائما در حال تغییر است. ایـن موجـب میشـود ابزاری نیاز باشد تا بتوان به طور موثر متغیرهای مورد نظر را مشخص نموده و آنها را تحت کنتـرل قـرار داد. در ایـن مقالـه بـا اسـتفاده از کنتـرل کننـده تناسـبی- انتگرالـی- مشتق‌گیـر (PID) [۴] تـلاش شـده اسـت تـا دینامیـک خروجی لیزر گیرنده بـه نحـوی تغییـر یابـد تـا مشـابه بـا دینامیک خروجـی لیـزر فرسـتنده گـردد. کنتـرل کننـده تناسبی کامـل‌تـرین ترکیـب کنتـرل‌کننـده پارامترهـای خروجی سیستم می باشد که در آن هـر کـدام از ضـرایب کنترلی با احتساب ضریب تاثیرگذاری با یکدیگر جمع و به ورودی سیستم اعمال مـی‌شـوند. در ایـن فرآینـد پـارامتر کنترل مقدار پرتو تزریقی از لیزر فرستنده به لیزر گیرنـده خواهد بود. در فرآیند کنترلی انتخاب شده بـرای طبیـق و اصـلاح پارامترهـای کنترلگـر تناسـبی از الگـوریتم رشـد جمعیتی ژنتیکی [۵] استفاده شـده اسـت. ایـن الگـوریتم همـانطور کـه در قسـمت نتـایج نشـان داده شـده اسـت میتواند به طور موثری در کنترل دینامیک خروجـی لیـزر گیرنده عمل نماید.

۲- مدل ریاضی

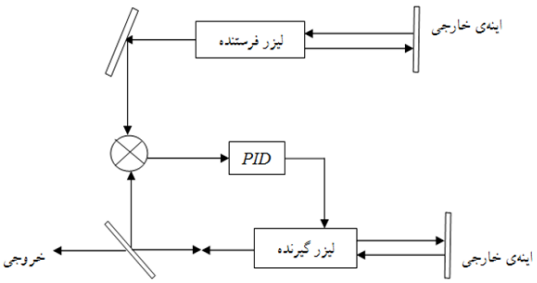
در حالت بی بعد میتوان از معادلات لانگ- کاباياشی بـرای توصیف دینامیک لیزرهای نیمه‌رسـانا بـا کـاواک خـارجی استفاده کرد کـه میتـوان انهـا را بـه صـورت زیـر نوشـت [۶ و۷]:

$$\frac{dE_m}{dt} = (1+i\alpha)NE_m + \eta_m E_m(t-\tau)e^{-iC_P} \qquad (۱)$$

$$\frac{dE_s}{dt} = (1+i\alpha)NE_s + \eta_s E_s(t-\tau)e^{-iC_P} + \beta E_m(t) \qquad (۲)$$

$$T\frac{dN_{m,s}}{dt} = P - N_{m,s} - (1+2N_{m,s})\left|E_{m,s}\right|^2 \qquad (۳)$$

در روابط فـوق انـدیس m و s بـه ترتیـب نشـانگر لیـزر فرسـتنده و گیرنـده مـی‌باشـد کـه در آنهـا، E میـدان الکتریکی بهنجار شده، N وارونی انبوهی، α فاکتور پهن شدگی، η شدت پس‌خوراند، C_P فـاز پـس‌خوراند، β شدت پرتو تزریقی، T نسبت بین طول عمـر کـاواک بـه طول عمر حامل بار الکتریکی (الکترون)، P میزان جریان دمـش شـده(پارامتر پمـپ) و τ میـزان تاخیرزمـانی در کـاواک خـارجی مـی‌باشـد. در محاسـبات از پـارامترهـای کاواک کوتاه به صورت $T = ۱۷۱۰$ و τ =۷۰ استفاده شده است. آرایش هندسی لیزرهای گیرنده و فرستنده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شـکل۱- آرایـش هندسـی لیزرهـای گیرنـده و فرسـتنده لیزری

۳- معرفی فرآیند کنترل

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

$$e = E(m) - E(s) \qquad (۴)$$

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

$$u = k_p e + k_I \int e dt + k_d \frac{de}{dt} \qquad (۵)$$

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

کـه در ان ضـرایب k_p افـزایش تناسـبی و k_I افـزایش انتگرالی و k_d افزایش مشتقی است. بـرای طراحـی یـک کنترل کننده معیار عملکرد یا تابع هدف می‌تواند با توجـه به محدودیت ها یا مشخصات مورد نظرمان تعریف شود. به منظور اندازه‌گیری عملکـرد لیـزر نیمـه‌رسـانا در ایـن جـا شاخص عملکرد انتگرال قدر مطلق خطا را به عنـوان تـابع هدف در نظر میگیریم:

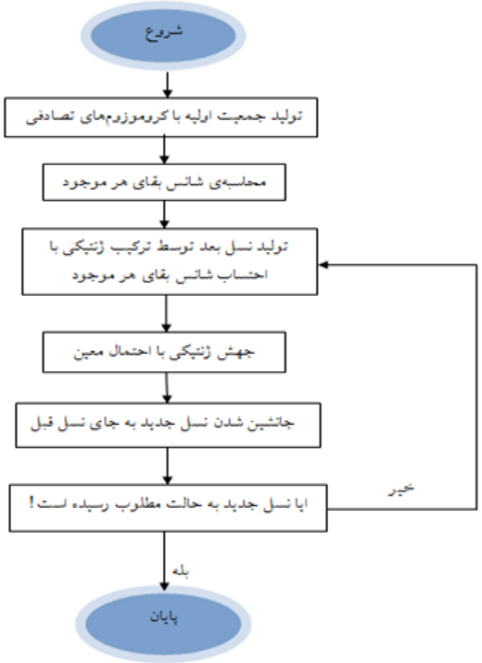
$$IAE = \int_0^\infty |e(t)|dt \qquad (۶)$$

در واقع تابع هـدف بـه افـزایش پارامترهـای k_p و k_I و k_d بســتگی دارد. در اینجـا هــدف بــه دســت آوردن کوچکترین مقدار (IAE) می باشد تا بدین طریـق بتـوان کمترین مقـدار را بـرای تـابع هـدف بدسـت آورد. بـدین منظور با انتخاب مقادیر اولیه برای پارامترهـای کنتـرل-کننده یک ورودی به حلقه بسـته کنترلـی اعمـال شـده و منحنی خطای سیستم برای مـدت زمـان مشخصـی ثبـت میشود. حال به کمک مقادیر خطای ثبـت شـده، شـاخص IAE محاسبه می گردد. مقدار این شاخص بدسـت آمـده متناسب با انتخاب مقادیر اولیه پارامترهای کنتـرل‌کننـده است. بار دیگر با تغییر پارامترهـای کنتـرل کننـده مـوارد فوق تکرار شـده و مقـدار جدیـد شـاخص IAE محاسـبه میشود. این فرآیند تا جایی تکرار مـی شـود کـه کمتـرین مقــدار شــاخص IAE بــه ازای مقــادیر مشخصــی از پارامترهای کنترل کننده به دست آید. آنگـاه ایـن مقـادیر تنظیم بعنوان مقادیر بهینـه پارامترهـا بـه کنتـرل کننـده واقعی اعمال میشود.

۴- بهبود طراحـی کنتـرل کننـده بـر اسـاس الگوریتم ژنتیک

معادلات لیزری کـه در اینجـا اسـتفاده کـردیم غیرخطـی هستند. برای استفاده از کنتـرل‌کننـده‌ی PID بایـد ایـن فرمول‌ها خطی‌سازی شوند. به منظور بالا بردن دقت کار و به دست اوردن نتیجه‌ی مطلوب از کنترل‌کننده‌ی PID از روشی استفاده میکنیم که بر پایـه‌ی برنامـه نویسـی AG (الگوریتم ژنتیک) است که در کلاس برنامـه نویسـی‌هـای غیرخطی (NLP)قرار دارد. الگوریتم ژنتیک که رفتار آن از مکانیسم تکامل در طبیعت الهام گرفته شـده بـا ایجـاد جمعیتی از افراد که هر یک در قالب کروموزوم ارایه می-شوند، پیاده‌سازی مـی‌گـردد. سـپس جمعیـت موجـود در جمعیت در اختیار فرایند تکامل قـرار مـی‌گیرنـد. نحـوه‌ی عملکرد الگوریتم ژنتیک مطابق چرخه‌ی زیر می‌باشد:

ابتدا کلیه‌ی افراد موجود در جمعیت ارزیابی شده سـپس افراد جدید با استفاده از عملگرهای تلفیق و جهش تولیـد می‌شوند، افراد تکراری از جمعیت جدید حذف می‌گردنـد. یک تکرار از این حلقه‌ای که تعریف کـردیم تحـت عنـوان ایجاد یک نسل شناخته می‌شود. اولین نسل از این فراینـد به صورت تصادفی ایجـاد مـی‌شـود بعـد از ان عملگرهـای ژنتیک با اندازه گیری میزان شایستگی انهـا جمعیـت را از نظر کارایی برای حل مساله مورد ارزیابی قرار می‌دهند.



شکل۲- فلوچارت نحوه عملکر الگوریتم ژنتیک

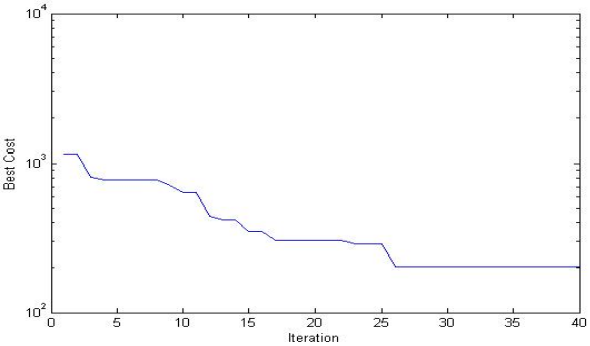
۵- حل عددی معادلات و توصیف نتایج

در این بخش نشان می‌دهیم کـه چگونـه کنتـرل‌کننـده‌ی مـورد اسـتفاده‌ی مـا بـر اسـاس الگـوریتم ژنتیـک بـرای هماهنـگ کـردن دو لیـزر نیمـه‌رسـانای یکسـان کـارایی مناسب را دارا می باشد. بر طبق الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه ای را بر اساس دنباله ی تصادفی انتخاب کردیم. نرخ اولیه جمعیت را برابـر ۳ گـرفتیم و نـرخ جهـش را ۰/۰۲. سپس با اجرای مراحل ایـن الگـوریتم در برنامـه‌ی متلـب نتایج زیر بدست آمد:

شکل-۳ منحنی همگرایی تابع هـدف را نسـبت بـه حلقـه الگوریتم تکرار نشان می‌دهد. همـانطور کـه از ایـن شـکل مشاهده می‌کنیم منحنی پس از تقریبـا ۲۷ تکـرار همگـرا می‌شود و ماکزیمم تعداد تکرار ۴۰ می‌باشد. به بیان دیگـر

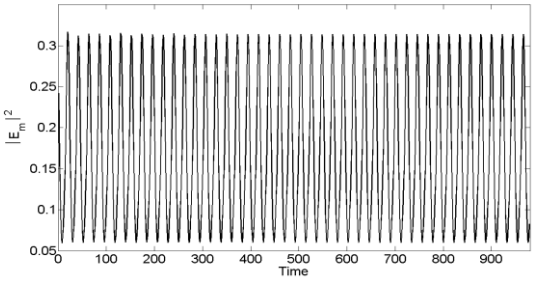
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

مجموعه کنتر 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.

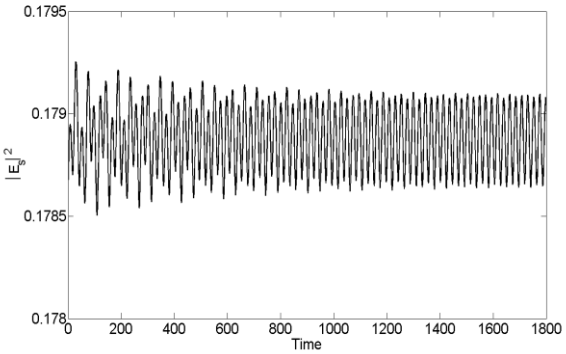


شکل۳- منحنی همگرایی تابع هدف

برای مشاهده نحوه عملکر 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(شکل۴).



شکل ۴- منحنی تحول زمانی شدت خروجی لیزر فرستنده



شکل۵ - منحنی تحول زمانی شدت خروجی لیزرگیرنده

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 کنترگر تناسبی مقادیر بهینه ضرایب را کسب ننموده است، دینامیک خروجی لیزر گیرنده تحت اثر تزریق اپتیکی ناپایدار و غیر پریودیک می باشد. اما همانطور که مشاهده می شود، در مطابقت با شکل۲ با گذشت زمان و ترمیم مقادیر ضرایب کنترلگر این نوسانات نا منظم به نوسانات پریودیک و منظم تغییر می یابد. در نهایت می توان مشاهده کرد که دینامیک لیزر گیرنده کنترل گردیده و مشابه با دینامیک لیزر فرستنده می باشد.

۶- نتیجه‌گیری

بررسی های انجام شده بر روی فرآیند کنترل دینامیک لیزر گیرنده نشان می دهد که کنترل کننده‌ی 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، الزاما اعمال فرآیند کنترل مطلوب نیازمند گذشت زمان خواهد بود. این بازه ی زمانی در واقع زمانی خواهد بود که الگوریتم ژنتیک مقادیر ضرایب کنترگر 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 شکلهای ۲ و ۵ بعد از ۴۰ بار تکرار به منظور اصلاح ضرایب کنترگر که مقدار پرتوی تزریقی را کنترل می نماید، نوسانات لیزر گیرنده نهایتا 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).

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]