

بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران.



۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

## طراحی و شبیه سازی لیزر پالسی Nd:YAG بر پایه ساختار نوسانگر-تقویت کننده

سومر حمیدی<sup>۱</sup>، عباس ملکی<sup>۱</sup>، یاسر نجفی ودود<sup>۱</sup>، مجید بابایی<sup>۱</sup>، حسن عبادیان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>شاهین شهر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر

yasern253@gmail.com

چکیده - در این مقاله به طراحی لیزر پالسی Nd:YAG توان بالا با ساختار نوسانگر-تقویت کننده به روش دمش دیودی پرداخته شده است. در این مقاله از یک طبقه نوسانگر با انرژی خروجی ۳۰۰ میلی ژول با پهنای پالس ۱۳ نانوثانیه به عنوان منبع اصلی و سه طبقه تقویت کننده تک بار عبور استفاده شده است که در نهایت انرژی ۳ ژول در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر حاصل شده است. ضریب بهره کل در طبقات تقویت کننده ۱۰ و بازده نوری به نوری در کل سامانه لیزر ۳۰ درصد به دست آمده است.

کلید واژه-نوسانگر، تقویت کننده، ضریب تقویت، انرژی اشباع

## Design and Simulation of pulsed Nd:YAG laser based on Master Oscillator Power Amplifier (MOPA) structure

Sommer Hamede, Abbas Maleki, Yaser Najafi vadod, Majid Babaei Tuski, Hassan Abadian

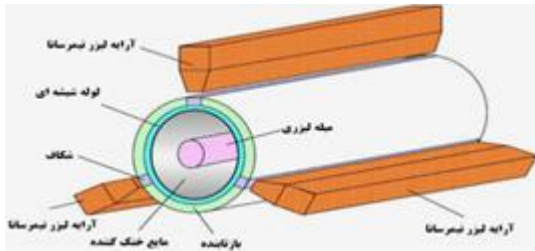
Shahin Shahr, Malek Ashtar University of Technology, Optics and Laser Science and Technology Research Center

yasern253@gmail.com

**Abstract-** In this paper design of a high-power pulsed Nd:YAG laser in oscillator-amplifier structure by diode pumping method has been presented. In this paper, an oscillator stage with an output energy of 300 mJ with a pulse width of 13 nanoseconds is used as the main source and three stages of single-pass amplifier, which finally produces 3 joules of energy at a wavelength of 1064 nm. The total gain coefficient in the amplifier stages is 10 and the optical to optical efficiency is obtained in the whole 30% laser system.

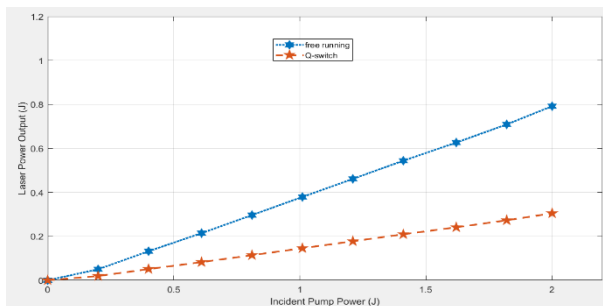
**Keywords:** Oscillator, Amplifier, gain coefficient, saturation energy

## مقدمه



شکل ۲: طرحواره ای از طرح دمش ۳ طرفه محافظه دمش نوسانگر

در شکل (۳)، نمودار انرژی خروجی نوسانگر در حالت رانش آزاد و کلید زنی Q نشان داده شده است:



شکل ۳: انرژی نوری خروجی نوسانگر برحسب انرژی نوری دمشی مختلف لازم به توضیح است که در نوسانگر از سلول الکترواپتیکی برای فرآیند کلیدزنی Q استفاده شده است.

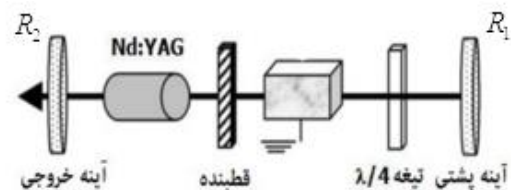
## طبقات تقویت کننده

در لیزرهای پرتوان صنعتی و نظامی جهت افزایش انرژی لیزر از تقویت کننده یکبار عبور و یا چند بار عبور استفاده می شود [۷]. تعداد طبقات به میزان انرژی و رژیم کاری لیزر بستگی دارد. در طراحی طبقات تقویت کننده جهت دست یابی به انرژی بیشینه، با به کارگیری تلسکوپ بین طبقات، قطر لکه پرتو خروجی از طبقه نوسانگر با دهانه طبقه تقویت کننده منطبق می شود. فرآیند تقویت انرژی تپ نوری لیزر و همچنین میزان تقویت به وسیله ضریب بهره تقویت (G) نشان داده می شود. در حالت کلی تقویت انرژی تپ های لیزری در دو حالت نمایی و خطی انجام می شود که به میزان چگالی انرژی ورودی به طبقه تقویت کننده در مقایسه با چگالی اشباع محیط فعال تقویت کننده بستگی دارد. اگر

در حال حاضر با استفاده از روش نوسانگر- تقویت کننده، لیزرهای پرا انرژی پالسی تولید می کنند [۱، ۲]. این نوع لیزرها در حوزه های مختلف علمی، پزشکی، صنعتی و نظامی مورد استفاده قرار می گیرند [۳-۵]. جهت افزایش انرژی پالس لیزرهای حالت جامدی همچون Nd:YAG از طبقات تقویت کننده یک بار عبور یا دو بار عبور بهره می برند [۶، ۷]. در این مقاله ساختار MOPA که شامل یک طبقه نوسانگر با انرژی خروجی ۳۰۰ میلی ژول و سه طبقه تقویت کننده که انرژی نوسانگر را به ۳ ژول افزایش می دهند طراحی شده است.

## نوسانگر لیزر

جهت طراحی طبقات تقویت کننده و بهینه سازی بازده تقویت، انتخاب نوسانگر مناسب که کیفیت پرتو بالایی داشته باشد بسیار مهم می باشد. در این مقاله از نوسانگر مطابق شکل زیر استفاده شده است:



شکل (۱): بخش نوسانگر لیزری

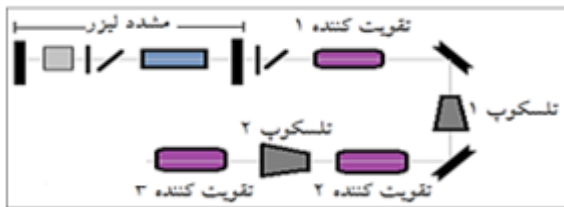
در شکل (۱)  $R_1 = 3m$  و  $R_2 = 4m$  و طول مشدد  $55cm$  در نظر گرفته شده است.

در این لیزر از میله Nd:YAG با طول ۱۱۰ میلی متر و قطر  $6/3$  میلی متر با درصد دوپ  $Nd^{+3}$  ۱/۱٪ استفاده شده است. جهت دمش محیط فعال لیزری از لیزر دیودهای پالسی که دارای انرژی ۲ ژول در طول موج ۸۰۸ نانومتر هستند، استفاده شده است. در شکل (۲)، طرحواره ای از محافظه دمش ۳ طرفه مشاهده می گردد:

جدول ۱: ابعاد میله‌های لیزری طبقات تقویت و انرژی دمشی نوری لیزر دیودها

انرژی نوری دمشی لیزر دیود (J)	قطر میله ماده فعال (mm)	طول میله ماده فعال (mm)	طبقه
۲	۷	۱۱۵	طبقه ۱
۴	۹	۱۱۵	طبقه ۲
۴	۱۱	۱۱۵	طبقه ۳

جهت دستیابی به انرژی خروجی ۳ ژول از سه طبقه تقویت کننده با ساختار یک بار عبور استفاده شده است (شکل ۴). در کلیه طبقات تقویت کننده ها از کاواک سرامیکی سه طرف دمش استفاده شده است:



شکل ۴: چیدمان لیزر با ساختار نوسانگر-تقویت کننده.

در جدول ۲ نتایج محاسبات انرژی خروجی از طبقات تقویت کننده‌ها آورده شده است:

جدول ۲: نتایج محاسبات انرژی خروجی از طبقات تقویت کننده‌ها

	طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳
$E_{in-pump}(J)$	۲	۴	۴
$E_{in-theo-opt}(J)$	۰/۳	۰/۸	۱/۹
$2r_R(mm)$	۷	۹	۱۱
$g_0(cm^{-1})$	۰/۲۵۵	۰/۲۴۸	۰/۱۶۶
$J_{st}(J/cm^3)$	۰/۱۳۵۵	۰/۱۶۴	۰/۱۰۹
$E_{out-theo}(J)$	۰/۸	۱/۹	۳/۰۷
$G_{theo}$	۲/۶۶	۲/۴	۱/۶

سطرهای جدول ۲ از بالا به پایین به ترتیب نشان‌دهنده انرژی دمشی لیزر دیود در هر طبقه، انرژی نوری محاسبه شده ورودی هر طبقه، قطر میله لیزری، بهره سیگنال کوچک، چگالی انرژی ذخیره شده، انرژی نوری خروجی محاسبه شده از هر طبقه و همچنین ضریب بهره تقویت محاسباتی هستند.

چگالی انرژی (انرژی در واحد سطح) پرتو ورودی به طبقه تقویت کننده از چگالی انرژی اشباع محیط فعال لیزری کوچک تر باشد، تقویت نمایی و چنانچه چگالی انرژی پرتو ورودی از شدت اشباع محیط فعال بزرگ تر باشد تقویت به شکل خطی انجام می شود [۷].

انرژی ذخیره شده در تراز بالایی ( $E_{stored}$  بر حسب ژول)، میزان اشباع محیط فعال تقویت کننده ( $E_{saturation}$  بر حسب  $J/cm^2$ ) و چگالی انرژی ذخیره شده در واحد حجم محیط فعال ( $J_{st}$ ) به ترتیب از روابط زیر محاسبه می شود [۷]:

$$E_{stored} = nh\nu_p \quad (1)$$

$$E_{saturation} = \frac{h\nu_p}{\sigma} = \frac{J_{st}}{g_0} \quad (2)$$

$$J_{st} = \frac{E_{st}}{V_R} \quad (3)$$

در روابط بالا  $n$  چگالی و آرونگی جمعیت،  $h\nu_p$  انرژی نوری دمش،  $\sigma$  سطح مقطع گسیل القایی محیط فعال،  $g_0$  بهره سیگنال کوچک و  $V_R$  حجم محیط فعال تقویت کننده است. انرژی خروجی از هر طبقه تقویت کننده بر حسب انرژی ورودی به آن از رابطه زیر حاصل می شود [۷]:

$$E_{out-amp} = E_s \ln\{1 + [\exp(\frac{E_{in}}{E_s}) - 1] \times \exp(g_0 l)\} \quad (4)$$

در حالتی که چگالی انرژی ورودی  $E_{in}$  از شدت اشباع  $E_s$  محیط بهره خیلی بیشتر باشد (رژیم اشباع) ضریب اشباع از رابطه زیر محاسبه می شود:

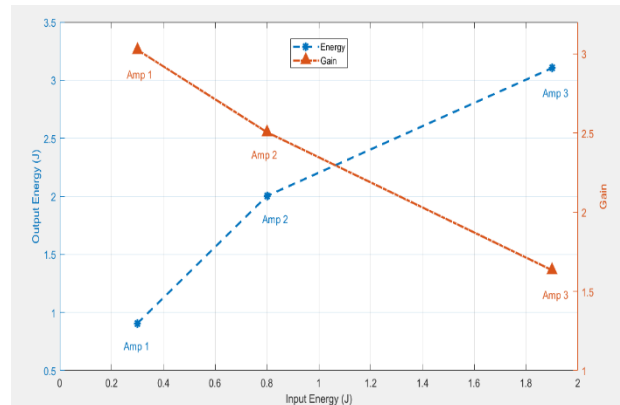
$$E_{in} \gg E_s \Rightarrow G = G_s = 1 + \frac{E_s}{E_{in}} g_0 l \quad (5)$$

مشخصات محیط فعال لیزری و انرژی نوری دمشی لیزر دیود طبقات تقویت کننده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است:

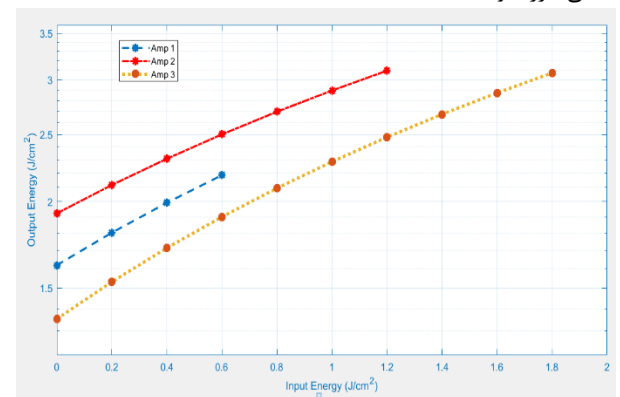
یک طبقه نوسانگر با انرژی خروجی ۳۰۰ میلی ژول با پهنای زمانی ۱۳ نانو ثانیه به عنوان منبع اصلی استفاده کردیم و در نهایت با استفاده از سه طبقه تقویت کننده تک بار عبور انرژی خروجی از نوسانگر به ۳ ژول افزایش داده شد. همچنین در این شبیه سازی ضریب بهره کل در طبقات تقویت کننده ۱۰ و بازده نوری به نوری در کل سامانه لیزر ۳۰٪ به دست آمده است.

- [1] <https://www.ESKLPA-laser.com/home.html>  
 [2] <https://www.quantel-laser.com/home.html>  
 [3] Yehoshua Kalisky, "The status of high-power lasers and their applications in the battlefield" *Optical Engineering* 49, 2010.  
 [4] A. D. Mcaulay, "Military Laser Technology for Defense" *Wiley*, 2011.  
 [5] [www.as.northropgrumman.com](http://www.as.northropgrumman.com)  
 [6] N. Hodgson and H. Weber, "Optical Resonators", *Springer*, 2005.  
 [7] W. Koechner, "Solid State Laser Engineering", *Springer*, 2006.

در شکل های ۵ و ۶ انرژی خروجی از هر طبقه تقویت کننده به ترتیب برحسب انرژی لیزر دیود و انرژی نوری ورودی به طبقات تقویت کننده ارائه شده است.



شکل ۵: انرژی نوری تقویت شده خروجی از طبقات تقویت برحسب انرژی دمشی لیزر دیود



شکل ۶: چگالی انرژی نوری خروجی از هر طبقه تقویت کننده برحسب چگالی انرژی نوری ورودی

## نتیجه گیری

جهت دستیابی به انرژی های بالاتر و همچنین جلوگیری از تخریب قطعات اپتیکی درون لیزر از ساختار نوسانگر-تقویت کننده یکبار عبور که نسبت به روش چند بار عبور ایمن تر است، استفاده می شود. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد با افزایش نرخ تکرار لیزر و انرژی دمشی، توان متوسط افزایش می یابد در نتیجه حرارت بیشتری در میله لیزر تولید می شود. با افزایش گرما، عدسی گرمایی قویتر و منجر به کانونی شدن پرتو لیزر و کاهش کیفیت پرتو خروجی می گردد. در این مقاله با استفاده از ساختار MOPA که از