بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

طراحی لیزر دوپالسی با استفاده از ساختار Master-Slave

مجید بابایی توسکی، عباس ملکی ، حسن عبادیان و علیرضا خلیلی

دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان- پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر

Majid2017bt@gmail.com

چکیده - در این مقاله به طراحی لیزر دو پالسی Nd:YAG با استفاده از ساختار Master-Slave پرداخته شده است. در این طرح از دو هد لیزر به عنوان master و Slave در تولید پرتو لیزری دو پالسی با تاخیر زمانی قابل تنظیم از مرتبه چند میکروثانیه تا چند میلی ثانیه با نرخ تکرار پالس ۱ تا ۱۵ هرتز و با پهنای زمانی ۸ نانوثانیه استفاده گردیده است. برای هم کانال کردن دو لیزر از تکنیک تغییر قطبش با بکارگیری چرخاننده ۹۰ درجه استفاده شده است. دمش محیط فعال در هر دو لیزر به وسیله فلاش لامپ انجام شده است. بهره تبدیل انرژی الکتریکی دمشی به انرژی نوری در حالت رانش آزاد و Q-سوئیچ به ترتیب ۲/۳ و ۱/۹ درصد بدست آمده است. نتایج تجربی بدست آمده با نتایج شبیه سازی LASCAD مقایسه شده است و تطابق بسیار بالای مشاهده شده است.

کلید واژه- لیزر دو پالسی Nd:YAG، چرخاننده قطبش، Master-Slave

Two-pulse laser design using the Master-Slave structure

M. Tooski, A. Maleki ,H. Ebadian and A. Khalili

Optic and laser science & technology research center, malek- Ashtar University of technology, Shahin share, Iran

Majid2017bt@gmail.com

Abstract- In this paper, the design of the two-pulse laser Nd: YAG is studied using the Master-Slave structure. In this design, two heads of laser as master and slave were used in the production of a two-pulse laser beam with a time delay of several microseconds to several milliseconds with a pulse repetition rate of 1 to 15 Hz and a pulse duration 8 nanoseconds. For the channeling of these two lasers, the polarization technique using a 90 degree rotator is used. The active medium in both lasers is pumped by a flash lamp. The conversion of electrical energy to optical energy in free running and Q-switches mods is 2.33 and 1.9 percent, respectively. The experimental results are compared with the results of the LASCAD simulation and a very high adaptation has been observed.

Keywords Two-pulse laser Nd: YAG, polarization rotary, Master-Slave

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-24]

مقدمه

لیزرهای دو پالسی در حوزه های مختلف علوم اعم از طیف سنجی، اندازه گیری سرعت ذرات و حوزه پزشکی مورد استفاده قرار می گیرد. لیزر یکی از ابزار های دقیق در آزمایشگاه مکانیک سیالات و آیرودینامیک است که جهت شناسایی فلوی سیال بسیار مفید است و در بهینه سازی طراحی تونل باد بکار می رود[۱-۴]. در این مقاله به طراحی و ساخت لیزر دو پالسی با ساختار Master-Slave پرداخته شده است که مشخصات پرتو خروجی این لیزر در در ادامه بیان خواهد شد. دو لیزر دارای مشخصات لیزری تقریباً مشابه هستند و خروجی دارای دو پالس با فاصله قابل تنظیم است.

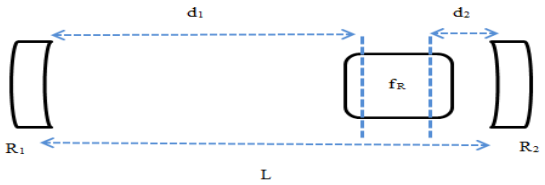
طراحی هد لیزر دو پالسی

یکی از پارامترهای مهم در طراحی مشدد نوری لیزر، مقدار فاصله کانونی ناشی از عدسی گرمایی است. اثر عدسی گرمایی ناشی از دمش محیط فعال لیزری بوجود می آید و عامل مهمی در طراحی مشدد نوری لیزرهای حالت جامد محسوب می گردد. این اثر باعث کاهش کیفیت پرتو خروجی لیزر و افت انرژی بویژه در نرخ تکرار دمش بالا می گردد. فاصله کانونی عدسی گرمایی با توان الکتریکی متوسط دمشی فلاش لامپ رابطه عکس دارد و با افزایش توان دمشی، فاصله کانونی عدسی گرمایی کوچکتر می شود و در نتیجه اثر آن بیشتر می شود[۵].

$$f_R = MP_{in-el-ave}^{-1} \qquad (۱)$$

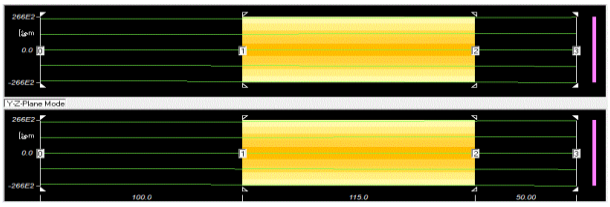
که در آن $P_{in-el-ave}$ توان الکتریکی دمشی متوسط و کمیت M شامل همه پارامترهای مربوط به محیط فعال لیزری است. با محاسبه و شبیه سازی مقدار f_R توسط نرم افزار LASCAD، شعاع انحنای بهینه مشدد نوری که بتواند عدسی گرمایی را تصحیح نماید، انتخاب می شود.

در شکل(۱) طرح واره عدسی گرمایی درون مشدد نوری لیزر نشان داده شده است.



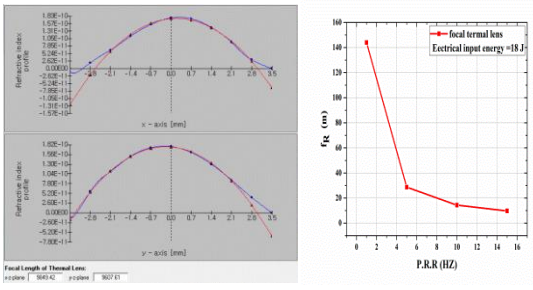
شکل۱: طرح واره مشدد نوری لیزر همراه با عدسی گرمایی f_R، R_1، R_2 شعاع انحنای آینه های لیزر ، L طول مشدد نوری، d_1، d_2 فاصله صفحات اصلی از آینه های مشدد می باشند.

در طراحی مشدد نوری لیزر Master و Slave از ساختار مشدد کاو-کاو برای دست یابی به حجم مدی بالا استفاده شده است بطوریکه اندازه لکه و انرژی خروجی لیزر با تغییرات نرخ تکرار دمش ثابت می ماند. در شکل (۲) مشدد نوری لیزر در محیط نرم افزارLASCAD نمایش داده شده است[۶].



شکل۲: مشدد نوری در نرم افزار لیزریLASCAD

با وارد نمودن پارامترهای ورودی دمشی در محیط نرم افزار، مقدار f_R در نرخ تکرار ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ برای انرژی الکتریکی ۱۸ ژول بدست آمده که در نمودار های شکل (۳) نمایش داده شده است.



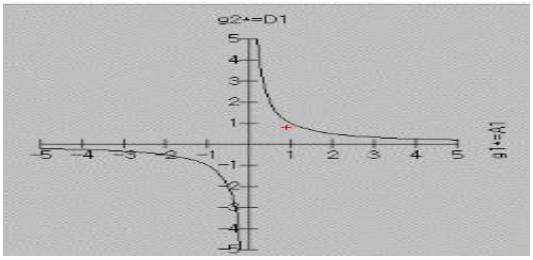
شکل۳: نمودار سمت راست عدسی گرمایی بر حسب نرخ تکرار در انرژی الکتریکی ۱۸ ژول، نمودار سمت چپ ضریب شکست عدسی گرمایی

در شبیه سازی لیزر از آینه های با شعاع انحنا $R_1 = +4\,m$ و $R_2 = +2\,m$ با ضریب بازتاب خروجی

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-24]

۲۵ ٪ به استفاده شده است. نمودار پایداری مشدد و مشخصات پرتو خروجی در شکل (۴) و جدول (۱) نمایش داده شده است.



شکل ۴: نمودار پایداری مشدد برای انرژی ۱۸ ژول الکتریکی و نرخ تکرار ۱۵ هرتز

جدول۱- نتایج شبیه سازی نرم افزارLASCAD برای مشدد کاو-کاو در نرخ تکرار ۱۵ هرتز

مشخصات پرتو خروجی لیزر	مقدار
f_R(m)	9.8
$2W_1$ (mm)	6.2
$2W_2$ (mm)	6.4
$2W_{output}$ (mm)	6.5
	0.89
	0.81
	0.72
	5

که $2w_1$ ، $2w_L$ و $2w_{output}$ اندازه لکه لیزر در روی آینه پشتی، روی صفحات اصلی عدسی گرمایی و روی آینه خروجی لیزر هستند. پارامترهای g_1^* و g_2^* پارامترهای هندسی مشدد فعال و M^2 فاکتور کیفیت پرتو خروجی لیزر می باشد. اندازه لکه لیزر تقریباً ثابت است و این نشان می دهد که مشدد انتخاب شده مناسب است. در مرحله بعد با استفاده از داده های جدول (۱) و روابط زیر انرژی خروجی لیزر نیز محاسبه و شبیه سازی گردد[۵]:

$$E_{OUT} = A\left(\frac{1-R}{1+R}\right)E_{sat}\left(\frac{2g_0\, l_m}{\delta - lnR} - R\right) \qquad (۲)$$

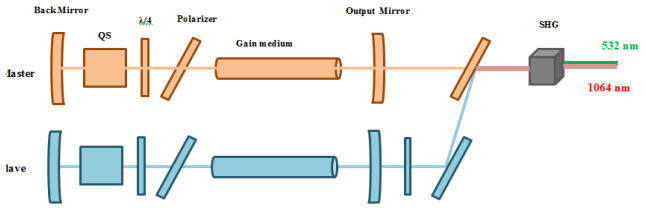
که E_{sat} شار اشباع محیط فعال Nd:YAG، A و l_m سطح مقطع و طول میله Nd:YAG هستند، R ضریب بازتاب آینه خروجی لیزر، g_0 ضریب بهره سیگنال کوچک و δ تلفات مشدد لیزر هستند، با استفاده از روابط زیر شیب بهره و بهره کل لیزر بدست می آید[۵]:

$$\eta_{total} = \frac{E_{Output}}{E_{in-electrical}} \qquad (۳)$$

$$\sigma_s = \frac{E_{Output}}{E_{in-electrical} - E_{th-opt}} \qquad (۴)$$

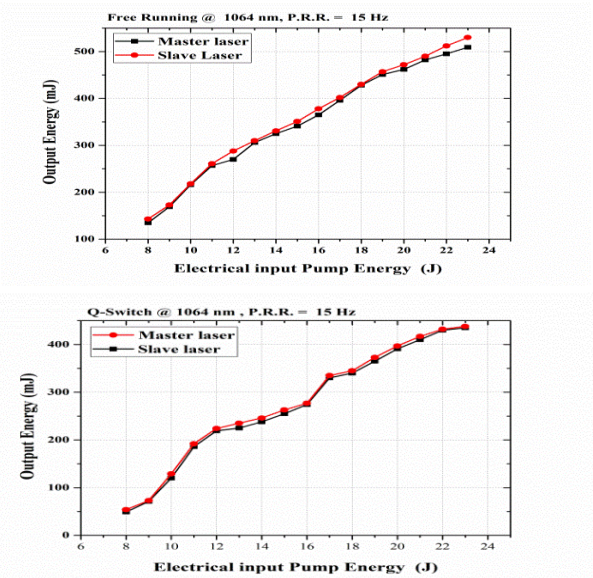
چیدمان آزمایشگاهی و نتایج تجربی

در شکل(۵) طرح واره لیزر Master-Slave نشان داده شده است چنانچه مشاهده می شود، هد master و Slave شامل کاواک لیزری، آینه های مشدد و قطبنده، تیغه چارک موجی و سلول الکترواپتیکی می باشند.



شکل۵: طرحواره ای از لیزر Master-Slave

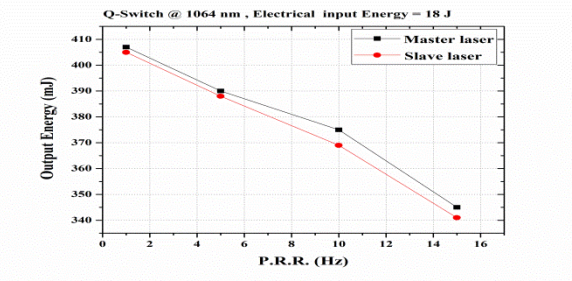
در این لیزر از فلاش لامپ شرکت V&Q با پهنای پالس متغییر و انرژی الکتریکی ۱۸ ژول جهت دمش میله لیزری Nd:YAG با طول ۱۱۵ میلی متر و قطر ۷ میلی متر استفاده شده است. انرژی خروجی لیزر در حالت رانش آزاد و Q-سوئیچ در شکل (۶) بر حسب انرژی الکتریکی ورودی به فلاش لامپ رسم شده است.



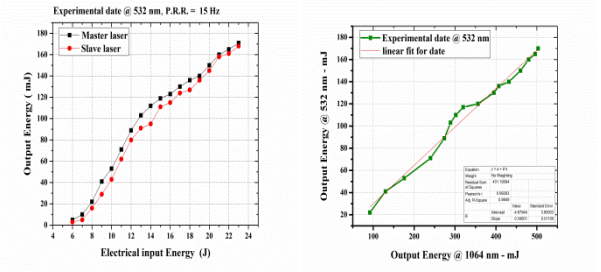
شکل۶ : نتایج تجربی استخراج شده از لیزرهای master و Slave در نرخ تکرار ۱۵ هرتز

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-24]

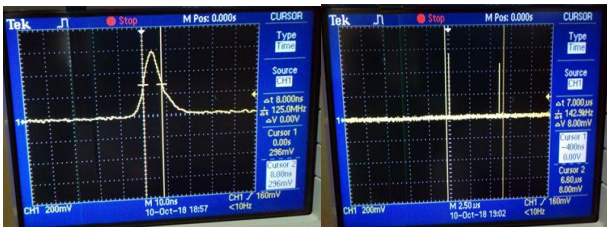


شکل۷: میزان افت انرژی دو لیزر Master و Slave با افزایش نرخ تکرار در انرژی الکتریکی ۱۸ ژول



شکل۸:نتایج انرژی خروجی لیزر در طول موج ۵۳۲ نانومتر بر حسب انرژی ورودی الکتریکی(سمت چپ)، انرژی خروجی در طول موج ۵۳۲ نانومتر بر حسب انرژی خروجی در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر (سمت راست)

نسبت انرژی خروجی در طول موج ۵۳۲ نانومتر به طول موج ۱۰۶۴ نانومتر برای لیزر Master در شکل فوق ارائه شده است و بازده تبدیل حدود ۳۴ درصد بدست می آید.



شکل۹: پهنای پالس خروجی لیزر برای تک پالس(سمت راست) و دو پالس متوالی با فاصله ۷ میکروثانیه

نتیجه گیری

در این مقاله یک لیزر دو پالسی با فاصله بین پالسها از چند میکروثانیه تا چند میلی ثانیه طراحی و ساخته شد که انرژی خروجی لیزر در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر بترتیب ۳۴۵ و ۳۴۰ میلی ژول برای Master و Slave است. پهنای پالس پرتو خروجی ۸ نانوثانیه و نرخ تکرار پالس بین ۱-۱۵ هرتز تغییر می کند. بازده کل لیزر در حالت رانش آزاد و کیو سوئیچ بترتیب ۲/۳ و ۱/۹ درصد می باشد. در این لیزر دو پالسی بازده تبدیل هارمونیک دوم حدود ۳۴ درصد می باشد.

مرجع‌ها

[1] C. Brossard, J.-C. Monnier, P. Barricau, P. Barricau, Y. Le Sant, Principles and Applications of Particle Image Velocimetry, Journal Aerospace lab, December 2009.

[2] L. David and P. Gicquel - Evolutions de la technique PIV à travers quelques conférences internationales de 2000 à aujourd'hui. Congrès Francophone de Techniques Laser, CFTL 2006, Toulouse, France, September 19-22, 2006.

[3] M. Stanislas , J. Westerweel, J. Kompenhans - Particle Image Velocimetry : Recent Improvements. Proceedings of the EUROPIV2 workshop held in Zaragoza, Spain, March 31, April 1, 2003.

[4] Nikolay F. Andreev, Efim A. Khazanov, Oleg V. Kulagin, Boris Z. Movshevich, Oleg V. Palashov, Guerman A. Pasmanik, Vladimir I. Rodchenkov, Andrew Scott, and Phil Soan, A Two-Channel Repetitively Pulsed Nd :YAG Laser Operating at 25 Hz with Diffraction-Limited Beam Quality, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 35, NO. 1, JANUARY 1999

[5] W.Kochner, Solid state laser Engineering, Springer,2006

[6] LAS-CAD, Laser Stability Analysis in LASCAD Software, the Unique Combination of Simulation Tools for Laser Cavity Analysis and Design. 2013. http://WWW.lascad.com.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-24]