بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

# بررسی بازده‌ی کاری لیزرهای دیودی تحت مدولاسیون فرکانس

**علی‌رضا لنجانی[۱]، امیرحسین شهبازی[۲]، خسرو معدنی‌پور[۳و۴]**

**۱- دانشکده‌ی فیزیک و مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر – alirezalanjani@aut.ac.ir**

**۲- دانشکده فیزیک، دانشگاه تهران – amir.shahbazi@ut.ac.ir**

**۳-دانشکده‌ی فیزیک و مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر – madanipour@aut.ac.ir**

**۴-آزمایشگاه اندازه گیری اپتیکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر**

**چکیده – لیزرهای دیودی از لحاظ عملکردی دارای حالت‌های کاری پیوسته و غیرپیوسته می‌باشند که لیزرهای پالسی و مدوله شده جزو حالت کاری غیرپیوسته دسته‌بندی می‌شوند. در مقاله‌ی پیش‌رو با استفاده از مدولاسیون پالس با فرکانس (f) و چرخه‌ی کاری (Duty Cycle) مشخص، اقدام به تغییر جریان و فرکانس کاری لیزر دیودی می‌کنیم. بدین ترتیب لیزر دیودی از حالت کاری پیوسته به مدوله شده تبدیل خواهد شد. به دلیل ساختار نیمه‌هادی این دسته از لیزرها و زمان کوتاه تزریق بار به درون ناحیه‌ی فعال (Active Region)، مشخصه‌های الکتریکی آن تغییر پیدا خواهند کرد. در نتیجه می‌توان لیزر را در بالای حد مشخصات الکترونیکی آستانه، راه‌اندازی نمود. در ادامه به طور تجربی نشان داده خواهد شد که افزایش فرکانس کاری لیزرهای دیودی مدوله شده، چه تاثیری بر بازده‌ی کاری آن‌ها خواهد گذاشت.**

کلید واژه- لیزر دیودی، مدولاسیون فرکانس، لیزر مدوله شده، بازده‌ی نوری.

# Investigation of Laser Diodes Efficiency Under Frequency Modulation

Alireza Lanjani[1], Amir Hossein Shahbazi[2], Khosrow Madani Pour[3,4]

1- Faculty of Physics and Energy Engineering, Amirkabir University of Technology - alirezalanjani@aut.ac.ir

2- Faculty of Physics, University of Tehran - amir.shahbazi@ut.ac.ir

3- Faculty of Physics and Energy Engineering, Amirkabir University of Technology - madanipour@aut.ac.ir

4- Optical Measurement Laboratory, Amirkabir University of Technology

Abstract- Laser diodes have different operating modes, such as continuous (CW), pulsed, and modulated modes. In this article, by modulating a pulse wave with a specific frequency (f) and duty cycle, we change the output current and frequency of laser diode. So the laser diode output changes to modulated mode. Because of the structure of semiconductor lasers and the short duration of injecting current to the active region of laser, the electrical characteristics of the laser will be changed so that laser diode can be overdriven. In this experiment, we will show the effects of frequency on laser diode efficiency.

Keywords: Diode Laser, Frequency Modulation, Modulated Laser, Optical Efficiency.



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06 ]

## ۱- مقدمه

لیزرهای دیودی از لحاظ حالت کاری (Operating Mode)، به چند دسته تقسیم می‌شوند. حالت عملکرد پیوسته یا Continuous Wave (CW) یکی از شناخته شده‌ترین مُدهای کاری لیزرهای دیودی می‌باشد که در این حالت، بار الکتریکی به طور دائم درون لیزر تزریق می‌گردد [۱]. لیزرهای دیودی پالسی (Pulsed) و مدوله شده (Modulated) جزو حالت کاری غیر پیوسته قرار می‌گیرند. این دسته از لیزرها در حوزه‌های مختلف مانند علوم پزشکی، آنالیز مواد و کنترل کیفیت در صنعت تولید نیمه‌هادی‌ها و دارو مورد استفاده قرار می‌گیرند که در حوزه‌ی پزشکی، یک کاربرد نسبتا جدید برای لیزرهای پالسی در میکروسکوپ‌های فلوئورسانس می‌باشد [۲]. از لیزرهای دیودی مدوله شده در سامانه‌های مخابرات فیبر نوری و مخابرات لیزری استفاده می‌شود. لیزرهای دیودی مدوله شده به دلیل هزینه‌ی پایین راه‌اندازی و عدم نیاز به سیستم‌های مدولاسیون پیچیده در مقایسه با دیگر روش‌ها، بسیار مورد توجه قرار می‌گیرند [۳]. دلیل اصلی استفاده‌ی این دسته از لیزرها به عنوان منبع نوری این است که در این حالت، لیزر می‌تواند بیش از ظرفیت خود و بدون آسیب دیدن راه‌اندازی گردد (Overdrive) و بدین ترتیب عملکرد و بازده‌ی تبدیل یا Conversion Efficiency ($\eta_c$) لیزر دیودی نیز تغییر می‌کند [۴]. کار با لیزرهای دیودی در این مُد عملکردی، ساده نبوده و نیاز به تکنیکی مناسب جهت راه‌اندازی و کاربردهای عملی دارد.

## ۲- مبانی نظری

توان میانگین ($P_{average}$)، مقدار انرژی کل تولید شده در یک مدت زمان معین بوده که براساس رابطه‌ی زیر بدست می‌آید [۵]:

$$P_{\text{average}} = \frac{E_{\text{total}}}{T_{\text{total}}} = \frac{E_{\text{period}}}{T} = \frac{E_{\text{pulse}}}{T} \qquad (۱)$$

که در آن $E_{total}$ مقدار انرژی کل اندازه‌گیری شده و $T_{total}$ مدت زمانی است که در آن انرژی اندازه‌گیری می‌شود. براساس تعریف، توان میانگین همواره کوچکتر یا مساوی توان بیشینه ($P_{\text{peak}}$) است. در شرایط ایده‌آل، انرژی کل در طول یک دوره تناوب ($E_{period}$)، برابر با انرژی تولید شده به وسیله‌ی یک تک پالس ($E_{pulse}$) می‌باشد. به منظور ساده‌سازی محاسبات، پالس‌ها بصورت موج مربعی با لبه‌های تیز در نظر گرفته می‌شوند. دوره تناوب سیگنال (T)، مدت زمانی است که یک چرخه‌ی کامل پالس در دنباله‌ی قطار پالس‌ها اتفاق می‌افتد. به طور مثال، این زمان برای یک سیگنال پالسی، مدت زمان بین دولبه‌ی بالا رونده‌ی (Rising Edge) دو پالس متوالی می‌باشد. پهنای پالس ($T_{\text{width}}$) مدت زمان یک پالس از زمان خیز تا افت (Rise/Fall) تعریف می‌گردد. توان بیشینه‌ی یک سیگنال پالس ایده‌آل، به عنوان مقدار انرژی تولید شده در یک تک پالس، بخش‌بر پهنای پالس می‌باشد. این امر ناشی از این حقیقت است که توان خروجی بین پالس‌ها به شکل ایده‌آل، صفر است که می‌توان بوسیله‌ی رابطه‌ی زیر نشان داد:

$$E_{\text{pulse}} = P_{\text{peak}} \times T_{\text{width}} \qquad (۲)$$

با استفاده از رابطه‌ی (۲) و جایگذاری در رابطه‌ی (۱)، رابطه‌ی میان توان میانگین و توان بیشینه بدست می‌آید:

$$P_{\text{average}} = \frac{P_{\text{peak}} \times T_{\text{width}}}{T} \qquad (۳)$$

زمانیکه چگالی جریان بالایی بطور پیوسته از لیزرهای دیودی عبور کند، دما افزایش پیدا می‌کند. از آنجائیکه دما یک مشخصه‌ی بسیار مهم به منظور بررسی عملکرد لیزر دیودی بوده، نیاز است تا به منظور حفظ عملکرد بهینه‌ی لیزر، خنک سازی مناسب صورت گیرد یا بطور جایگزین، لیزر در شرایط غیر پیوسته عمل کند [۶]. افزایش دمای پیوند (Junction Temperature)، روی برخی از مشخصه‌های فیزیکی لیزرهای دیودی مانند جریان آستانه ($I_{\text{th}}$)، توان نوری (Optical Power) و بازده‌ی تبدیل اثر می‌گذارد [۷]. بازده‌ی کاری در لیزرهای دیودی بر اساس رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود [۸]:



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

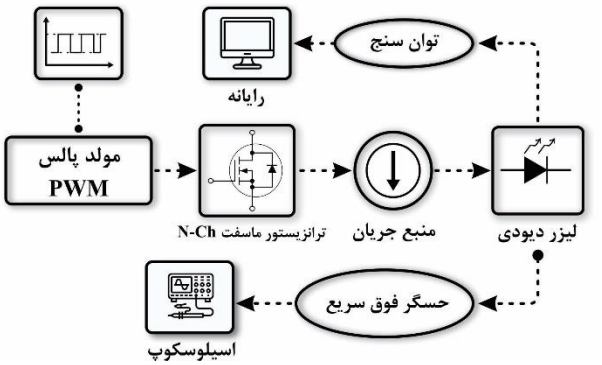
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06 ]

$$\eta_C = \frac{P_{optical}}{V \times I} \quad (۴)$$

که در آن $P_{optical}$ توان نوری، V ولتاژ و I جریان لیزر می‌باشد.

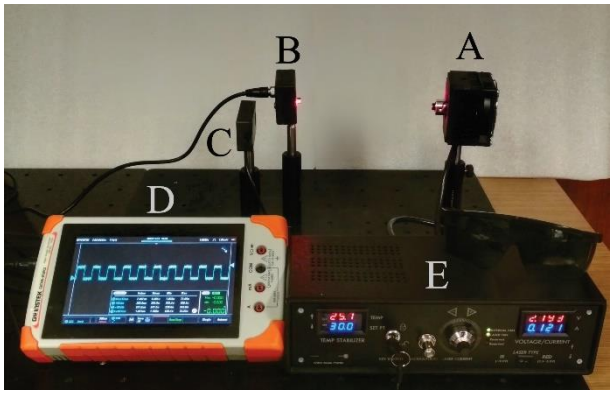
## ۳- چیدمان تجربی

در این مقاله به منظور بررسی بازده‌ی لیزر دیودی تحت مدولاسیون پالس، از راه‌انداز و پایدارساز لیزر دیودی به همراه مدولاتور پالس و یک لیزر با طول موج مرکزی $(\lambda_{peak})$ 658 nm استفاده شد. در شکل (۱) به طور شماتیک، نمایی از قسمت‌های مختلف چیدمان نمایش داده شده است.



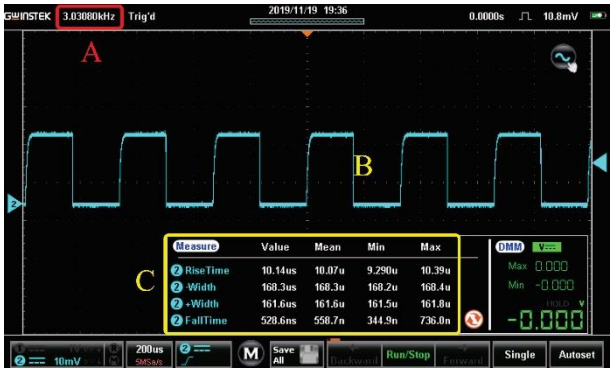

شکل ۱: نمایی شماتیک از بخش‌های چیدمان آزمایشی به منظور بررسی بازده‌ی لیزر دیودی تحت مدولاسیون فرکانس.

در این چیدمان آزمایش، با استفاده از سیستم مولد پالس (PWM Pulse Generator) و استفاده از یک ترانزیستور ماسفت N-Type با زمان تاخیر روشن/خاموش (Turn-On/Off Delay Time) حداکثر 60 ns، اقدام به اعمال پالس به مدار کنترل جریان لیزر دیودی می‌گردد. در ادامه با استفاده از یک حسگر آشکارساز نیمه‌هادی فوق سریع با زمان خیز/افت بیشینه‌ی ۳ نانو ثانیه، تحت بایاس معکوس و یک اسیلوسکوپ دیجیتال با حداکثر فرکانس کاری 200 MHz و نرخ نمونه برداری 1 GSa/s، پهنای پالس و نرخ تکرار پالس (PRR) لیزر اندازه‌گیری شده و با استفاده از توان‌سنج نیمه‌هادی نیز توان میانگین نوری گزارش می‌شود. در شکل (۲)، چیدمان آزمایشی مشخص شده است.




شکل ۲: نمایی از چیدمان آزمایش: (A) لیزر دیودی، (B) حسگر آشکارساز نیمه‌هادی فوق سریع، (C) توان‌سنج نیمه‌هادی متصل به رایانه، (D) اسیلوسکوپ دیجیتال متصل به حسگر فوق سریع، (E) راه‌انداز و پایدارساز لیزر دیودی.

ابتدا در حالت پیوسته، جریان و ولتاژ کاری لیزر دیودی را روی ۱۸۱ میلی‌آمپر و ۲,۳۲۵ ولت تنظیم کرده و در ادامه‌ی کار، تغییری در پیچ تنظیم جریان اعمال نمی‌کنیم. بلکه اینکار تنها با تغییر فرکانس و چرخه‌ی کاری (Duty Cycle) انجام می‌شود. سپس با استفاده از سیستم مدولاتور سیگنال، از فرکانس 1 kHz تا 11 kHz با گام‌های مشخص 1 kHz اقدام به افزایش فرکانس روشن-خاموش مدار جریان کردیم تا فرکانس اپتیکی لیزر دیودی نیز مطابق فرکانس ورودی تغییر پیدا کند. به منظور افزایش دقت این بررسی، علاوه بر فرکانس ثبت شده در سیستم مدولاتور، به کمک اسیلوسکوپ نیز نرخ تکرار پالس ثبت می‌گردد.




شکل ۳: نمایی از خروجی اسیلوسکوپ دیجیتال متصل به حسگر فوق سریع (Volt/Div = 10mV, Time/Div = 200µs) : (A) فرکانس قطار پالس لیزر، (B) نمای پالس مدوله شده روی لیزر دیودی، (C) اطلاعات مربوط به پالس همچون پهنا و زمان خیز/افت.

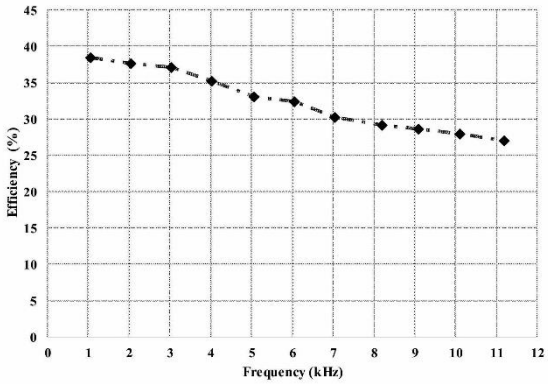
به منظور بررسی دقیق تاثیر فرکانس بر عملکرد لیزر، توان میانگین خروجی را در تمامی حالت‌های مدوله شده، روی



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

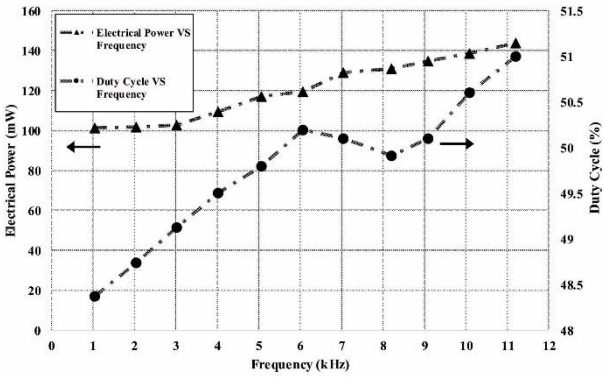
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06 ]

مقدار ۰٫۶±۳۸٫۶ میلی‌وات تثبیت می‌کنیم تا تغییرات توان به طور مستقل روی عملکرد لیزر تاثیر گذار نباشد. بدین منظور در فرکانس مشخص شده، اقدام به تغییر Duty Cycle کرده تا توان نوری در این بازه قرار گیرد. در این بررسی، توان‌سنج نیمه‌هادی با نرخ نمونه‌برداری 4 Sps (Sample per Second) و دقت 17 bits استفاده شده است. سپس با ثبت توان اپتیکی، جریان، ولتاژ و توان الکتریکی مصرفی ($P_{\text{electrical}}$) لیزر، اقدام به محاسبه‌ی بازده می‌کنیم. شکل (۲) نمودار فرکانس-بازده‌ی لیزر مدوله شده را نشان می‌دهد.




شکل ۴: نمودار تغییرات بازده‌ی کاری لیزر دیودی در فرکانس‌های مختلف مدوله شده.

شکل (۵) تغییر چرخه‌ی کاری و توان مصرفی الکتریکی را در فرکانس‌های مختلف نمایش می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود، چرخه‌ی کاری ثبت شده از پالس لیزر توسط اسیلوسکوپ مقدار نسبتا ثابتی می‌باشد که این امر به دلیل تثبیت توان اپتیکی لیزر دیودی در بازه‌ی ذکر شده در تمامی فرکانس‌ها می‌باشد.




شکل۵: نمودار تغییرات توان الکتریکی و نرخ فعالیت (Duty Cycle) لیزر دیودی در فرکانس‌های مختلف.

## ۴- نتیجه‌گیری

در این بررسی، فرکانس پرتو یا قطار پالس لیزر دیودی بوسیله‌ی تغییر فرکانس و چرخه‌ی کاری سیستم مدولاتور پالس (PWM) متصل به مدار کنترل جریان لیزر، تغییر پیدا کرده و همزمان فرکانس قطار پالس و توان میانگین، به کمک حسگر نیمه‌هادی فوق‌سریع، اسیلوسکوپ و توان‌سنج اندازه‌گیری شدند. سپس بازده‌ی کاری لیزر دیودی مورد استفاده با توجه به نتایج ذکر شده محاسبه گردید و مشاهده شد که با افزایش فرکانس، بازده‌ی کاری کاهش پیدا می‌کند. مد نظر قرار دادن این نکته در طراحی سیستم‌هایی که نیاز به مدولاسیون نوری مانند سامانه‌های مخابرات فیبر نوری و مخابرات لیزری دارند، بسیار حائز اهمیت است.

## سپاسگزاری

از تمامی اعضای شرکت دانش‌بنیان نمایه پرتو آشا که نهایت همکاری را با این گروه تحقیقاتی داشتند، خالصانه سپاسگزاریم.

## مرجع‌ها

**[1]** Karin Jerner, “Electrical Pulsing of a Laser Diode for Usage in Fluorescence Microscopy”, Master of Science Thesis in Electrical Engineering Department of Electrical Engineering, Linköping University, 2017.

**[2]** K. De and D. Goswami, “Signal Enhancement in Fluorescence Microscopy by Microsecond Pulsed Excitation,” Current Science, 2016.

**[3]** Kaminow I. P., Lie T., Willner A. E., “Optical fiber telecommunication V, A: Components and subsystems,” Academic Press in an imprint of Elsevier, 2008.

**[4]** D. Hodgson, K. Noonan, B. Olsen, and T. Orosz. “Pulsing a laser diode,” Technical report, ILX Lightwave, 2004.

**[5]** Newport Corporation, “Average and peak power - A Tutorial”, Photonics Technical Note 1, 2016.

**[6]** D. Sands, “Diode lasers (Series in Optics and Optoelectronics),” Taylor & Francis, 2004.

**[7]** Coldren, L.A. and Corzine, S.W. (Writers), Shi, H.X. (Translator) (2006) “Diode Laser and Integrated Optics.” Beijing University of Posts and Telecommunications Press, Beijing.

**[8]** Yiru Liao, Jianjun Li, Guoxin Mi, Haikuo Wang, Yuancheng Wang, Jun Deng, Jun Hana, “An Experimental Study on the Temperature Characteristic of a 940 nm Semiconductor Laser Diode”, Optics and Photonics Journal, 2016.



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06 ]