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

تأثیر تغییرات جریان و دما لیزر دیود بر انتخاب فیلتر گیرنده سیستم مخابرات اپتیکی فضای آزاد(FSO)

سیّده سروناز خاتمی[۱]، بهنام شریعتی[۱]، فاطمه دباغ کاشانی[۱] و سیّد محمّد میرکاظمی[۲]

[۱] آزمایشگاه فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
[۲] دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده - لیزرهای دیودی به دلیل قابلیت مدولاسیون مستقیم و تغییر توان به واسطهٔ تغییر جریان در مخابرات اپتیکی فضای آزاد مورد توجه قرار گرفته‌است. تغییر جریان و دما در سامانه سبب تغییر طول‌موج گردیده و این تغییرات در طراحی سیستم اپتیکی گیرنده و بخصوص فیلترهای آن تأثیر بسزایی دارد. در این مقاله جابه‌جایی طول‌موجی لیزر دیودی در اثر تغییرات جریان و دما اندازه‌گیری و بر اساس بازهٔ تغییرات، فیلتر ترکیبی مناسب متشکل از یک فیلتر پایین‌گذر و یک فیلتر بالاگذر، انتخاب شده‌است. نتایج اندازه‌گیری‌ها با استفاده از گراف‌ها و نمودارها ارائه شده‌است.

کلید واژه- جابه‌جایی طول‌موجی، فیلتر اپتیکی، لیزر نیمه‌رسانا، مخابرات لیزری فضای آزاد

The Effects of Changes of Current and Temperature on the Selection of Filter for Free Space Optical (FSO) Communication

[1]S. S. Khatami, [1]B. Shariati, [1]F. D. Kashani and [2]S. M. Mirkazemi

[1] Photonic Lab., School of Physics, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

[2] School of Metallurgy and Materials engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract- Semiconductor lasers play an important role in free space optical communications for capability of direct modulation and changing the power by changing the current. The changes of current and temperature of the system alter the wavelength and these changes affect the optical receiver system design and in particular its filters. In this article, wavelength chirping of semiconductor laser due to changes in current and temperature have been measured. Based on the range of variation, suitable combined filter consisting of a low pass filter and high pass filter was selected. The measurement results are presented using graphs and charts.

Keywords: Free Space Optical (FSO) Communication, Optical filter, Semiconductor laser, Wavelength chirping.

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

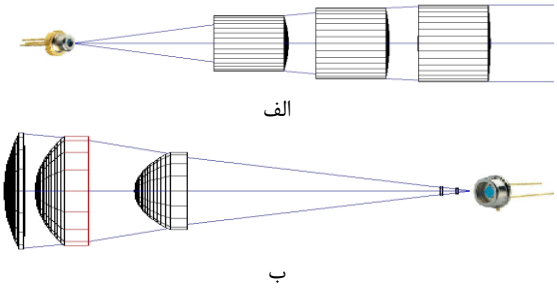
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

۱- مقدمه

لیزرهای دیودی به عنوان منابع بهینه به صورت گسترده در لینک‌های مخابرات فیبر نوری، مخابرات لیزری فضای آزاد و سیستم‌های پردازش داده فوق سریع مورد استفاده قرار می‌گیرد. لیزرهای دیودی قابلیت مدوله شدن با نرخ بیت بسیار بالا را دارند که نیاز کلیدی برای لینک‌های مخابراتی پر سرعت است. خصوصیت اصلی این لیزرها قابلیت آن‌ها در تولید سیگنال‌های اپتیکی مدوله شده به واسطهٔ تزریق مستقیم جریان‌های الکتریکی است [۱]. لیزرهای دیودی به‌دلیل عدم نیاز به مدولاتور، هزینه بکارگیری ادوات و پیچیدگی سامانه مخابرات لیزری را کاهش می‌دهد [۲]. جابه‌جایی طول‌موجی(یا فرکانسی) یکی از پارامترهای اصلی تعیین عملکرد سیستم‌های مخابرات اپتیکی است. این موضوع مرتبط با تغییرات دینامیک فرکانس لیزرهای دیودی طی مدولاسیون و با تغییر چگالی حامل(ناشی از تغییرات جریان و دما) می‌باشد. معمولاً جابه‌جایی طول‌موج با مجموعه‌ای از معادلات دینامیکی برای چگالی فوتون و حامل توصیف می‌شود [۳، ۴]. در سیستم‌های مخابرات اپتیکی فضای آزاد از سامانه‌های ردیاب اتوماتیک به منظور کاهش اثرات محیطی استفاده می‌شود، که عملکرد آن بر پایه تغییر جریان و در نتیجه آن توان خروجی لیزر است [۵، ۶]. از سوی دیگر، تغییر جریان در داخل ناحیهٔ فعال سبب تغییر دما می‌شود. به‌کارگیری سامانه در محیط آزاد سبب اعمال تغییرات قابل ملاحظه دمایی بر روی سامانه می‌شود. در برخی از مناطق بومی این تغییرات در ساعات مختلف شبانه‌روز بسیار چشمگیر است. این تغییرات بر روی طراحی اپتیکی و ساخت گیرنده تأثیر بسزایی داشته و به‌کارگیری تثبیت کنندهٔ دما را ضروری می‌سازد. قرار گرفتن گیرنده و فرستندهٔ اپتیکی سامانه مخابراتی در فضای آزاد و نصب آن بر روی ساختمان‌های بلند(به‌دلیل نیاز به خط دید مستقیم) سبب آن می‌شود که گیرنده تحت تأثیر تابش مستقیم خورشید و بازتابش آن از سطوح مختلف محیطی قرار گیرد. این موضوع به‌کارگیری فیلترهای اپتیکی را در سامانه گیرنده ضروری می‌نماید. انتخاب فیلتر اپتیکی مناسب در طراحی و ساخت گیرنده نیاز به بررسی کامل رفتار طول‌موجی و توانی لیزر دیودی فرستنده تحت تأثیر تغییرات جریان و دما دارد. در مقاله حاضر، تأثیر تغییر جریان و دما بر یک لیزر نمونه در طول‌موج ۸۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شده و با توجه به بازهٔ تغییرات طول‌موجی فیلتر مناسب انتخاب و تحلیل شده‌است. نتایج با استفاده از گراف نمایش داده شده‌است.

۲- مبانی نظری

سامانه الکترواپتیکی مخابرات اپتیکی فضای آزاد شامل دو بخش فرستنده(لیزر دیودی و اپتیک موازی‌ساز) و گیرنده(اپتیک گیرنده(متشکل از عدسی و فیلتر اپتیکی) و حسگر آشکارسازی(اغلب فوتودیود)) می‌باشد(شکل(۱)).



الف

ب

شکل۱: الف) تصویری از یک موازی‌ساز فرستنده نمونه طراحی شده توسط نرم‌افزار ZEMAX، ب) تصویری از یک گیرنده نمونه طراحی شده توسط نرم‌افزار ZEMAX

همانگونه‌که در شکل(۱) مشاهده می‌شود، فرستندهٔ سامانه مخابرات اپتیکی شامل لیزر دیودی و موازی‌ساز اپتیکی است که اغلب شامل دو یا سه عدسی می‌باشد. در فرستنده اغلب از لیزر دیودی با طول‌موجی در محدودهٔ مادون قرمز نزدیک(بدلیل وجود پنجره اتمسفری در این ناحیه) استفاده می‌شود [۷]. در این ناحیه طول‌موجی لیزرهای تجاری با طول‌موج ۸۵۰ نانومتر با قابلیت مدولاسیون جریان سریع موجود می‌باشد. از دیگر لیزرهای موجود، لیزرهای ۷۸۰، ۸۳۰، ۹۸۰ و ۱۵۵۰ نانومتر هستند که روند تغییرات توانی و طول‌موجی مشابه با لیزر دیودی ۸۵۰ نانومتر دارند [۸]. در بخش اپتیکی گیرندهٔ این سامانه چند عدسی(اغلب دو یا سه عدسی) به‌کارگرفته می‌شود که تابش فرودی را همگرا ساخته و بر سطح مؤثر حسگر متمرکز می‌سازد. فیلترها در بخش پایانی اپتیک گیرنده و قبل از حسگر قرار می‌گیرند. پارامترهایی که باید در انتخاب فیلتر مورد توجه قرار گیرند به شرح زیر است:

۱- خصوصیات شیمیایی
۲- خصوصیات مکانیکی
۳- خصوصیات حرارتی

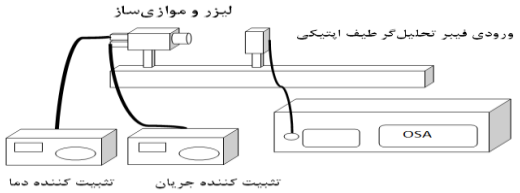
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

۴- خصوصیات اپتیکی

با توجه به آن‌که فیلتر در بخش پایانی طرح اپتیک گیرنده قرار داشته و مقدار توان دریافتی توسط گیرنده در بازهٔ توان تأثیر گذار بر خصوصیات حرارتی نیست، خصوصیات حرارتی یک فیلتر فقط با رویکرد تأثیر تغییر دما بر روی ضریب‌شکست به واسطه انبساط و انقباض بررسی می‌شود. به‌دلیل بازهٔ تغییرات کم دما، تغییرات ضریب شکست و تأثیر قابل چشم‌پوشی آن بر کیفیت لینک این خصوصیات از موارد قابل توجه در این تحقیق نمی‌باشد. فیلترها در بخشی از سیستم اپتیکی قرار دارند که تحت تأثیر عوامل محیطی همچون بارش، وزش باد و گرد و غبار و عوامل شیمیایی محیط قرار نمی‌گیرند. فاکتورهایی که در اولویت بررسی قرار داشته و تأثیر بر انتخاب فیلتر مناسب دارند، خصوصیات اپتیکی و عبوردهی طیفی است. در ضمن فیلتر باید از مقاومت مکانیکی مطلوب برخوردار باشد. فیلترها بر اساس رفتار عبوردهی طیفی در سه گروه میان-گذر(band pass)، بالاگذر(high pass) و پایین‌گذر(low pass) دسته‌بندی می‌شوند. در مخابرات اپتیکی فضای آزاد به منظور دستیابی به بازهٔ عبوردهی مناسب و یکنواخت متناسب با بازهٔ جابه‌جایی طول‌موجی از دو فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر به صورت ترکیبی استفاده می‌شود. نحوهٔ انتخاب آن در بخش بعدی ارائه خواهد شد.

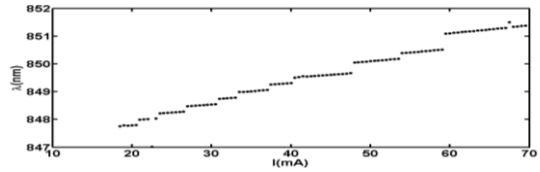
۳- محاسبه و شبیه‌سازی

چیدمان آزمایش در شکل(۲) ارائه شده‌است. باریکهٔ لیزر دیودی توسط اپتیک همگراکننده بر روی ورودی فیبر یک تحلیل‌گر طیف اپتیکی متمرکز شده و اطلاعات مربوط به توان بر حسب طول‌موج ثبت می‌شود.

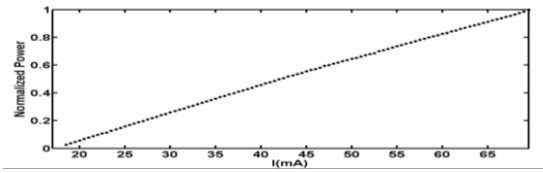


شکل۲: چیدمان اندازه‌گیری جابه‌جایی طول‌موجی

در قدم نخست تأثیر تغییر جریان بر طول‌موج خروجی بررسی می‌شود. همانگونه که در شکل(۳) مشاهده می-شود، افزایش جریان در دمای ثابت(۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد) سبب افزایش چگالی حامل‌ها، افزایش بیشینه تابع بهره و پهن شدن و جابه‌جایی آن به سمت طول‌موج‌های بلندتر می‌شود [۸]. در نتیجه، افزایش جریان سبب جابه‌جایی طول‌موجی به سمت طول‌موج‌های بالاتر می‌شود. شکل(۴) تغییر توان بر حسب جریان را نشان می‌دهد. همانگونه‌که انتظار می‌رود افزایش جریان بدلیل افزایش بیشینه تابع بهره سبب افزایش توان می‌شود. همانگونه‌که ذکر شد، در سیستم‌های مخابرات اپتیکی از سامانهٔ ردیاب اتوماتیک استفاده می‌شود که در زمان کاهش تلاطم و اثرات محیطی مقدار توان لیزر و واگرایی آن را به منظور افزایش طول عمر سامانه کاهش می‌دهد.

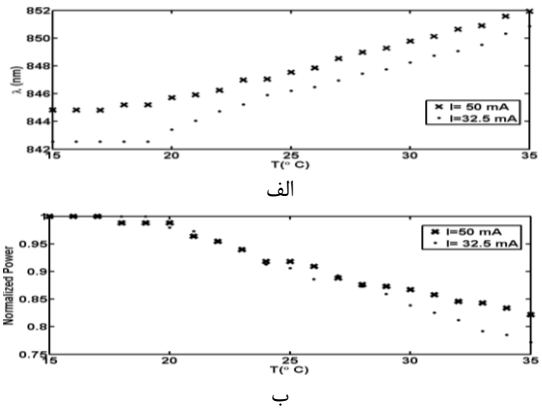


شکل ۳: مقادیر طول‌موج بر حسب جریان(در دمای کار لیزر)



شکل ۴: مقادیر توان نرمال بر حسب جریان(در دمای کار لیزر)

نکته قابل توجه آن است که در طراحی فیلتر باید کاهش طول‌موج به واسطهٔ کاهش جریان مورد توجه قرار گیرد. در شکل(۵) تأثیر تغییرات دما بر جابه‌جایی طول‌موجی مورد بررسی قرار گرفته‌است. افزایش دما سبب ایجاد تغییرات در توزیع چگالی حامل‌ها، کاهش بیشینه منحنی بهره و جابه‌جایی آن به سمت طول‌موج بلندتر می‌شود. همانگونه‌که مشاهده می‌شود، بدلیل موارد فوق، افزایش دما سبب جابه‌جایی طول‌موجی به سمت طول‌موج‌های بلندتر(در حدود بازهٔ ۸۴۰ تا ۸۵۲ نانومتر) همراه با کاهش توان می‌شود.

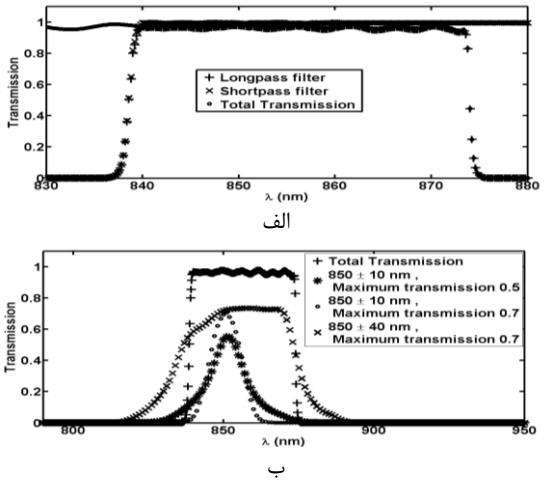


شکل ۵: الف) تغییرات طول‌موج بر حسب دما در دو جریان مختلف لیزر، ب) تغییرات توان نرمال بر حسب دما در دو جریان مختلف لیزر.

با توجه به تغییرات طول‌موجی به واسطهٔ تغییر جریان و دما استفاده از فیلتر پایین‌گذر(۸۶۰ نانومتر) با ترکیب با

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]

فیلتر بالاگذر(۸۴۰ نانومتر) توصیه شده‌است. با توجه به محدودیت طراحی و ساخت فیلترهای اپتیکی با گذردهی مناسب در بازهٔ مذکور، فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر با عبوردهی طیفی نزدیک به بازهٔ مذکور انتخاب می‌شود. فیلترهای انتخابی در مقالهٔ حاضر، فیلتر پایین‌گذر با باند عبوردهی در بازهٔ ۳۸۰ تا ۸۶۰ نانومتر با باند مسدود شدهٔ ۸۹۰ نانومتر و فیلتر بالاگذر با باند عبوردهی در بازهٔ ۸۴۲ تا ۹۳۵ نانومتر، باند مسدود شدهٔ ۸۳۴ نانومتر و عبوردهی ۵۰ درصد در طول‌موج ۸۷۵ نانومتر هستند. عبوردهی این ترکیب در شکل(۶) نشان داده شده‌است.



شکل ۶: الف) عبوردهی فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر [۹] و عبوردهی ترکیب دو فیلتر، ب) عبوردهی حاصل از ترکیب دو فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر و سه فیلتر میان‌گذر با عبوردهی و پهنای باند عبوری مختلف [۱۰]

همانگونه‌که در شکل(۶) مشاهده می‌شود، ترکیب دو فیلتر عبوردهی بیش از ۰/۹۵ در بازهٔ ۸۴۰ تا ۸۷۵ نانومتر ارائه می‌دهد. در شکل فوق عبوردهی سه فیلتر دیگر در بازهٔ موردنظر ارائه شده‌است. طبق شکل مشاهده می‌شود که استفاده از فیلتر میان‌گذر علاوه بر کاهش سطح عبوردهی سبب حذف اطلاعات دریافتی در برخی از شرایط دمایی و جریانی می‌شود. لازم به ذکر است که جهت افزایش سطح عبوردهی از فیلترهای میان‌گذر با پهنای باند در حدود صد نانومتر استفاده می‌شود. افزایش پهنای باند سبب کاهش نسبت سیگنال به نویز شده و اعتبار اطلاعات را در مخابرات اپتیکی فضای آزاد تحت تأثیر قرار می‌دهد. استفاده از فیلتر ترکیبی مناسب با حذف طول‌موج‌های تابش‌های مزاحم محیطی همراه با حفظ توان دریافتی در بازهٔ طول‌موجی مطلوب سبب کاهش نویز گیرنده شده و کیفیت لینک مخابراتی را افزایش می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، تغییرات طول‌موجی و توانی لیزری با طول‌موج ۸۵۰ نانومتر به عنوان منبع فرستنده بر اساس تغییرات دما و جریان بررسی شد. با توجه به بازهٔ تغییرات طول‌موجی، به‌کارگیری فیلتری ترکیبی متشکل از یک فیلتر پایین‌گذر و یک فیلتر بالاگذر در اپتیک گیرنده، پیشنهاد شده و عبوردهی آن تحلیل شد. بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که افزایش جریان سبب افزایش طول‌موج و توان ارسالی می‌شود. با افزایش دما طول‌موج لیزر افزایش یافته و توان کاهش می‌یابد. در جریان‌های مختلف روند یکسانی در تغییرات دمایی مشاهده شد. با کاهش جریان شیب کاهش توان(و بازهٔ تغییرات آن) و بازهٔ تغییرات طول‌موج افزایش می‌یابد. با توجه به اندازه‌گیری-های تجربی و تحلیل اپتیکی، استفاده از کنترل‌کنندهٔ دما و تثبیت‌کنندهٔ جریان در سامانه‌های مخابرات لیزری امری ضروری است و تأثیر تغییرات جریان و دما بر طول‌موج در انتخاب فیلتر مناسب چشمگیر می‌باشد.

مراجع

[1] Webb C. E., Jones J. D. C., *Handbook of laser technology and applications, V. 2: Laser design and laser systems*, p. 585-604, IOP, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, 2004

[2] Kaminow I. P., Lie T., Willner A. E., *Optical fiber telecommunication V, A: Components and subsystems*, p. 53-80, Academic Press in an imprint of Elsevier, 2008

[3] Chen Y., Wartak M. S., *Wavelength chirp of DFB lasers with carrier transport*, **Microwave and Optical Technology Letters** 5 (1997) 291-294.

[4] Agrawal G. P. and Dutta N. K., *Long- wavelength semiconductor lasers*, p. Van Nostrand, New York, 1986.

[5] Kashani F. D., Hedayati Rad M. Reza, Hedayati Rad MA. Reza, Mahzoun M. Reza, *Reliability analysis of the auto-tracked FSO communication links*, International Symposium of Telecommunications (IST), Iran, Tehran, 2010.

[6] Kashani F. D., Hedayati Rad M. Reza, Kazemian E., Golmohammady Sh., Mahzoun M. Reza, Reliability analysis of an auto-tracked FSO link under adverse weather condition, **Optik- International Journal for Light and Electron Optics** 22 (2013) 5462-5467.

[7] Naimullah B.S., Othman M., Rahman A.K., Sulaiman S.I., Ishak S., Hitam S. and Aljunid S.A., *Comparison of wavelength propagation for Free Space Optical Communications*, International Conference on Electronic Design, Penang, 2008.

[8] Saleh LB. E. A., Teich M. C., *Fundamental of photonics*, second edition, p.75-86, Wiley series in pure and applied, 2007.

[9] http://www.semrock.com

[10] http://www.thorlabs.com

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30]