INSO
6566
1st Revision
2018
Identical with
ISO 11554:
2017

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۶۵۶۶
تجدیدنظر اول
۱۳۹۷

اپتیک و فوتونیک- لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر- روش‌های آزمون برای توان، انرژی و مشخصه‌های زمانی باریکه لیزر

Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam power, energy and temporal characteristics

ICS: 31.260

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۶۵۶۶ (تجدید نظر اول): سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«اپتیک و فوتونیک- لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر- روش‌های آزمون برای توان، انرژی و مشخصه‌های زمانی باریکه لیزر»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
حلاجان، مهدی (کارشناسی ارشد فیزیک)	مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران
دبیر:	
ابوالحسینی، شهریار (کارشناسی ارشد فیزیک)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آرامون، نرجس (کارشناسی ارشد الکترونیک)	سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
پورحسن‌نژاد، زهرا (کارشناس ارشد فیزیک)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
رجبی، زهره (کارشناسی فیزیک)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
سروجهانی، فریبا (کارشناسی ارشد الکترونیک)	سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
سلطانی، امیر (کارشناسی ارشد برق- قدرت)	سازمان انرژی اتمی ایران
سمیع‌پور، فرهاد (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی
سیلاخوری، کاوه (کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
عربلو، رضا (کارشناسی فیزیک)	پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی
قشلاقی، مریم (دکتری فیزیک)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
مختاری، حسین (کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)	سازمان انرژی اتمی ایران
ویسی، فاطمه (کارشناسی مترجمی زبان انگلیسی)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی

ویراستار:

حق‌بین نظرپاک، معصومه (دکتری مهندسی پزشکی، بیومتریال)	عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر- پژوهشکده فناوریهای نو

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ح
مقدمه ط
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۲
۴ علائم و یکاهای اندازه‌گیری ۲
۵ اصول اندازه‌گیری ۴
۶ پیکربندی اندازه‌گیری، تجهیزات آزمون و وسیله‌های جانبی ۴
۶-۱ آماده‌سازی ۴
۶-۱-۱ چشمه‌های با زاویه واگرایی کوچک ۴
۶-۱-۲ چشمه‌های با زاویه واگرایی بزرگ ۵
۶-۱-۳ اندازه‌گیری RIN ۶
۶-۱-۴ اندازه‌گیری بسامد قطع سیگنال کوچک ۷
۶-۲ کنترل اثرات زیست محیطی ۸
۶-۳ آشکارسازها ۸
۶-۴ اپتیک شکل‌دهی باریکه ۱۰
۶-۵ تضعیف‌کننده‌های اپتیکی ۱۰
۷ اندازه‌گیری‌ها ۱۱
۷-۱ کلیات ۱۱
۷-۲ توان لیزرهای موج‌پیوسته ۱۱
۷-۳ پایداری توان لیزرهای موج‌پیوسته ۱۱
۷-۴ انرژی تپ لیزرهای تپی ۱۲
۷-۵ پایداری انرژی لیزرهای تپی ۱۲
۷-۶ شکل زمانی تپ، دیرش تپ، زمان خیز، زمان اُفت و قلهٔ توان ۱۲
۷-۷ پایداری دیرش تپ ۱۲
۷-۸ آهنگ تکرار تپ ۱۲
۷-۹ نوفه شدت نسبی، RIN ۱۳
۷-۱۰ بسامد قطع سیگنال کوچک ۱۳
۸ ارزیابی ۱۳

عنوان **صفحه**

۸-۱ کلیات ۱۳
۸-۲ توان لیزرهای موج‌پیوسته ۱۴
۸-۳ پایداری توان لیزرهای موج‌پیوسته ۱۴
۸-۴ انرژی تپ لیزرهای تپی ۱۵
۸-۵ پایداری انرژی لیزرهای تپی ۱۵
۸-۶ شکل زمانی تپ، دیرش تپ، زمان خیز، زمان اُفت و قلهٔ توان ۱۵
۸-۷ پایداری دیرش تپ ۱۸
۸-۸ آهنگ تکرار تپ ۱۸
۸-۹ نوفه شدت نسبی، RIN ۱۹
۸-۱۰ بسامد قطع سیگنال کوچک ۱۹
۹ گزارش آزمون ۱۹
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) نوفه شدت نسبی (RIN) ۲۳
کتاب‌نامه ۲۵

پیش‌گفتار

استاندارد «اپتیک و فوتونیک- لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر- روش‌های آزمون برای توان، انرژی و مشخصه‌های زمانی باریکه لیزر» که نخستین‌بار در سال ۱۳۸۱ تدوین و منتشر شد، بر اساس پیشنهادهای دریافتی و بررسی و تأیید کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ برای نخستین‌بار مورد تجدیدنظر قرار گرفت و در هفتصد و پنجاه و دومین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۹۷/۰۸/۱۶ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد جایگزین استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۶۵۶۶: سال ۱۳۸۱ می‌شود.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ISO 11554: 2017, Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam power, energy and temporal characteristics

مقدمه

اندازه‌گیری توان لیزر (انرژی برای لیزرهای تپی) از جمله اندازه‌گیری‌های متداولی است که توسط سازندگان و کاربران لیزر انجام می‌شود. اندازه‌گیری‌های توان (انرژی)، به‌منظور طبقه‌بندی ایمنی، مشخصه‌های پایداری لیزر، بیشینه مشخصه‌های خروجی آن، اجتناب از آسیب، الزامات کاربردی خاص و غیره مورد نیاز است. این استاندارد راهنمایی‌هایی برای اندازه‌گیری توان (انرژی) لیزر که به‌منظور مشخصه‌یابی پایداری لیزر به‌کار می‌رود، ارائه می‌کند. معیارهای پایداری برای بازه‌های زمانی مختلف (به عنوان مثال کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت) توصیف شده و روش‌هایی برای تعیین کیفی این مشخصه‌ها ارائه شده است. این استاندارد اندازه-گیری‌های تپ را نیز در جایی‌که سرعت پاسخ آشکارساز اهمیت بسزایی در تجزیه و تحلیل شکل تپ یا توان قله تپ‌های کوتاه دارد شامل می‌شود. برای گزارش‌گیری استاندارد از نتایج اندازه‌گیری توان (انرژی)، الگوی گزارش نیز گنجانده شده است.

این استاندارد، برطبق استاندارد ISO 12100 یک استاندارد نوع B[1] است.

ممکن است مقررات این استاندارد با یک استاندارد نوع C[2] تکمیل یا اصلاح شود.

توجه داشته باشید که برای ماشین‌هایی که در دامنه کاربرد استاندارد نوع C قرار دارند و آن‌هایی که مطابق با مقررات آن استاندارد، طراحی و ساخته شده‌اند، مقررات استاندارد نوع C بر مقررات استاندارد نوع B اولویت دارند.

۱- استاندارد ایمنی عمومی

۲ - استاندارد ایمنی ماشین

اپتیک و فوتونیک- لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر- روش‌های آزمون برای توان، انرژی و مشخصه‌های زمانی باریکه لیزر

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه روش‌های آزمون برای تعیین توان و انرژی باریکه‌های لیزر موج‌پیوسته و تپی و همچنین مشخصه‌های زمانی شکل تپ، دیرش تپ[1] و آهنگ تکرار تپ می‌باشد. همچنین در این استاندارد روش‌های آزمون و ارزیابی برای پایداری توان لیزرهای موج‌پیوسته، پایداری انرژی لیزرهای تپی و پایداری دیرش تپ، ارائه شده است.

روش‌های آزمون ارائه شده در این استاندارد برای آزمون و مشخصه‌یابی لیزرها کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

درصورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 11145, Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment — Vocabulary and symbols

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۷۳۶: سال ۱۳۹۶، اپتیک و فوتونیک - لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر– واژگان و نمادها، با استفاده از استاندارد ISO 11145: 2016 تدوین شده است.

2-2 ISO/IEC Guide 99, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۴۷۲۳: سال ۱۳۹۰، واژه‌نامه اندازه‌شناسی– مفاهیم پایه و عمومی و اصلاحات مربوط با استفاده از استاندارد ISO/IEC GUIDE 99: 2007 تدوین شده است.

2-3 IEC 61040:1990, Power and energy measuring detectors, instruments and equipment for laser radiation

1- Pulse duration

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استانداردهای ISO 11145 و ISO/IEC Guide 99، اصطلاحات با تعاریف زیر نیز به‌کار می‌رود:

۱-۳

نوفه شدت نسبی

relative intensity noise

RIN

***R*(*f*)**

نسبت میانگین مربعی افت و خیزهای توان تابشی به میانگین مربعی توان تابشی است که به باند بسامدی با پهنای واحد بهنجار شده است.

$$R(f) = \frac{\langle \Delta P(f)^2 \rangle}{\langle P(f)^2 \rangle} \cdot \frac{1}{\Delta f} \qquad (۱)$$

یادآوری ۱- منظور از نوفه شدت نسبی $R(f)$ یا RIN (به فرمول (۱) مراجعه شود) به‌وضوح اشاره به «چگالی طیفی نوفه شدت نسبی» دارد، ولی معمولاً برای سهولت با عنوان RIN خوانده می‌شود.

یادآوری ۲- برای جزئیات بیشتر، به پیوست **الف** مراجعه شود.

۲-۳

بسامد قطع سیگنال کوچک

small signal cut off frequency

f_c

بسامدی که در آن، زمانی‌که مدولاسیون توان ورودیِ کم و ثابت اعمال شود و بسامد افزایش یابد، مدولاسیون توان خروجی لیزر به نصف مقدار به‌دست آمده در بسامدهای پایین افت می‌کند.

۴ علائم و یکاهای اندازه‌گیری

در این استاندارد، علاوه بر علائم و یکاهای ارائه شده در استاندارد ISO 11145، علائم و یکاهای بیان شده در جدول ۱ نیز به‌کار می‌رود:

جدول ۱ – علائم و یکاهای اندازه‌گیری

علامت	یکا	عبارت
f	Hz	بسامد
f_c	Hz	بسامد قطع سیگنال کوچک
$[f_1,f_2]$	Hz	گستره بسامدی که نوفه شدت نسبی $R(f)$ برای آن داده شده است
k	۱	ضریب تصحیح برای تعیین عدم‌قطعیت
m	۱	خوانش
$\overline{m}$	۱	مقدار میانگین خوانش‌ها
P	W	توان میان‌گیری‌شده در مدت نمونه‌برداری
$\bar{P}$	W	توان میانگین، میانگیری‌شده در مدت اندازه‌گیری با شرایط تعیین‌شده توسط سازنده
ΔP	۱	افت و خیز نسبی توان در سطح اطمینان ٪ ۹۵ در دوره نمونه‌برداری مناسب [ΔP (۱ µs) و/یا ΔP (۱ ms) و/یا ΔP (۰/۱ s) و/یا ΔP (۱ s)]
$\bar{Q}$	J	میانگین انرژی تپ
ΔQ	1	افت و خیز نسبی انرژی تپ در سطح اطمینان ٪ ۹۵
$R(f)$	Hz^{-1} یا dB/Hz	نوفه شدت نسبی، RIN
$S(t)$	۱	سیگنال آشکارساز
s	۱	انحراف معیار اندازه‌گیری‌شده
T	s	دوره زمانی تکرار تپ
t	s	دوره زمانی اندازه‌گیری
U_{rel}	۱	عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته هم‌ارز با سطح اطمینان ٪ ۹۵ (ضریب تصحیح k =۲)
$U_{\mathrm{rel}}(C)$	۱	عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته کالیبراسیون هم‌ارز با سطح اطمینان ٪ ۹۵ (ضریب تصحیح k =۲)
τ_{F}	s	زمان افت تپ لیزر
$\Delta\tau_{\mathrm{H}}$	۱	افت و خیز نسبی دیرش تپ با توجه به τ_{H} در سطح اطمینان ٪ ۹۵
τ_{R}	s	زمان خیز تپ لیزر
$\Delta\tau_{10}$	۱	افت و خیز نسبی دیرش تپ با توجه به τ_{10} در سطح اطمینان ٪ ۹۵

یادآوری ۱ – برای جزئیات بیشتر در مورد سطح اطمینان ٪ ۹۵ به استاندارد ISO 2602 مراجعه شود.

یادآوری ۲ – عدم‌قطعیت بسط‌یافته با حاصل‌ضرب عدم‌قطعیت استاندارد و ضریب تصحیح $k = 2$ به‌دست می‌آید و مطابق با استاندارد ISO/IEC Guide 98-3[3] تعیین می‌شود. عموماً، با این ضریب تصحیح، مقدار اندازه‌ده با احتمال تقریباً ٪ ۹۵ در بازهٔ تعریف شدهٔ عدم‌قطعیت بسط‌یافته قرار می‌گیرد.

یادآوری ۳– تابع $R(f)$ برحسب dB/Hz برابر است با $10\log_{10}R(f)$، که $R(f)$ برحسب Hz^{-1} است.

۵ اصول اندازه‌گیری

باریکه لیزر به سمت سطح آشکارساز هدایت می‌شود تا یک سیگنال با دامنه متناسب با توان یا انرژی لیزر تولید کند. دامنه برحسب زمان اندازه‌گیری می‌شود. تابش‌های گسیلی از چشمه‌های با زاویه‌های واگرایی بزرگ با یک کره یکدست‌کننده جمع می‌شوند. در صورت نیاز ممکن است از وسیله‌های شکل‌دهنده و تضعیف‌کننده[1] باریکه استفاده شود.

روش ارزیابی به پارامتر تعیین شونده بستگی دارد که در بند ۸ توضیح داده شده است.

۶ پیکربندی اندازه‌گیری، تجهیزات آزمون و وسیله‌های جانبی

۶-۱ آماده‌سازی

۶-۱-۱ چشمه‌های با زاویه واگرایی کوچک

باریکه لیزر و محور اپتیکی سامانه اندازه‌گیری باید هم‌محور باشند. قطر (سطح مقطع) سامانه اپتیکی را به گونه‌ای انتخاب کنید که تمامی سطح مقطع باریکه لیزر را بپوشاند، به‌گونه‌ای که اتلاف پراش یا برش[2] کمتر از ٪ ۱۰ عدم‌قطعیت اندازه‌گیری موردنظر باشد.

محور اپتیکی را به نحوی قرار دهید که با باریکه لیزر اندازه‌گیری‌شونده هم محور باشد. برای این منظور وسیله‌های تنظیم اپتیکی مناسبی وجود دارند (برای مثال لیزرهای تنظیم یا آینه‌های راهنما). تضعیف‌کننده‌ها یا شکل‌دهنده‌های اپتیکی باریکه را به نحوی قرار دهید که محور اپتیکی از مرکز هندسی آن‌ها عبور کند. توصیه می‌شود مراقبت شود تا از بروز خطاهای سیستمی جلوگیری شود.

یادآوری ۱- بازتاب‌ها، نور محیط خارجی، تابش گرمایی و جریان‌های هوا از منابع بالقوه خطا هستند.

بعد از اتمام آماده‌سازی اولیه، ارزیابی انجام شود تا تعیین شود که آیا کل باریکه لیزر به سطح آشکارساز می‌رسد. برای این کار، می‌توان روزنه‌هایی با قطرهای مختلف را در مسیر باریکه و جلوی هر کدام از قطعه‌های اپتیکی قرار داد. اندازه روزنه را کاهش داده تا سیگنال خروجی ٪ ۵ کاهش یابد. توصیه می‌شود قطر این روزنه حداقل ٪ ۲۰ کمتر از روزنه قطعه اپتیکی باشد. برای باریکه‌های واگرا، توصیه می‌شود روزنه بدون هیچ فاصله‌ای در جلوی آشکارساز قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که تمامی باریکه را دربرمی‌گیرد.

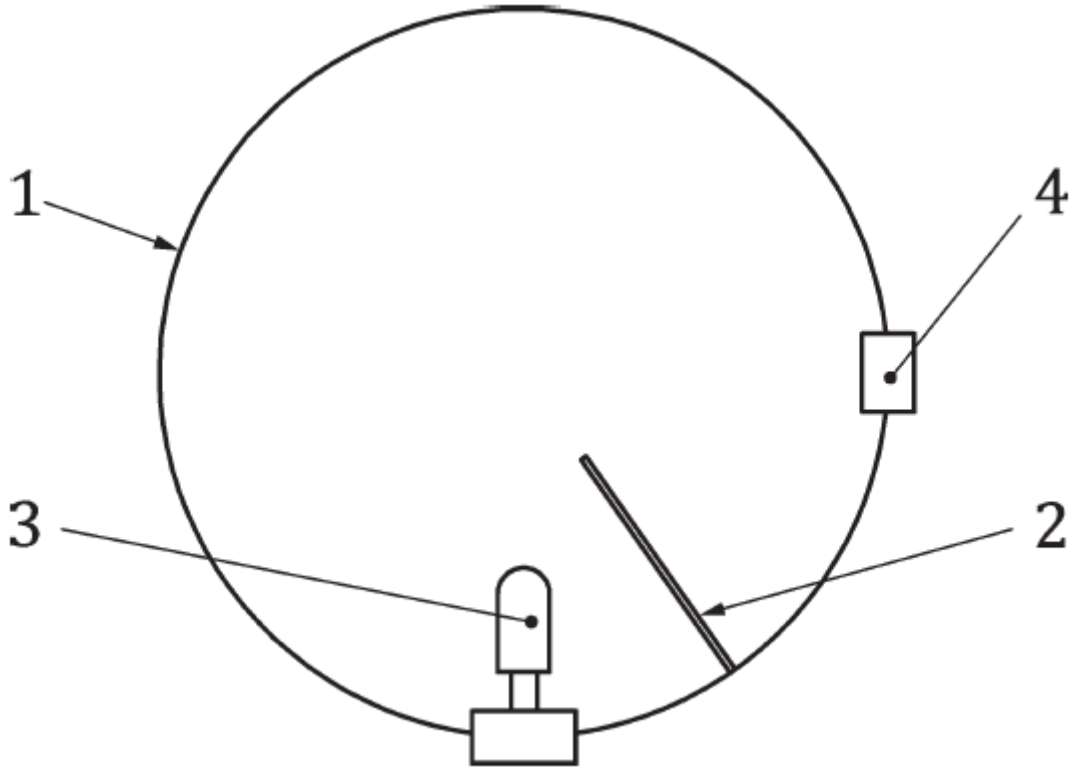
یادآوری ۲- قبل از انجام اندازه‌گیری‌های توان (انرژی) شرح داده شده در بند ۷، این روزنه‌ها برداشته شود.

1- Attenuator
2- Clipping

۶-۱-۲ چشمه‌های با زاویه واگرایی بزرگ

تابش گسیلی از منابع با زاویه‌های واگرایی بزرگ باید به‌وسیله یک کره یکدست‌کننده جمع شود. تابش جمع‌آوری‌شده، دستخوش بازتاب‌های چندگانه از دیواره کره یکدست‌کننده می‌شود؛ این امر منجر به یک تابندگی یکنواخت از سطح، می‌شود که متناسب با شارِ جمع‌آوری‌شده است. آشکارساز نصب شده در دیواره کره این تابش را اندازه‌گیری می‌کند. یک پرده مات از آشکارساز در برابر تابش مستقیم دستگاه مورد اندازه‌گیری محافظت می‌کند. وسیلهٔ گسیلنده در محل یا نزدیک ورودی کره یکدست‌کننده قرار می‌گیرد، بنابراین هیچ تابش مستقیمی به آشکارساز نمی‌رسد.

شکل ۱ پیکربندی اندازه‌گیری کره یکدست‌کننده را برای چشمه گسیلنده کوچک واقع در درون کره یکدست‌کننده نشان می‌دهد. توصیه می‌شود که چشمه‌های بزرگتر بیرون از کره ولیکن به اندازه کافی نزدیک روزنه قرار گیرند تا تمام تابش گسیلی وارد کره شود.



راهنما:

1 کره یکدست‌کننده
2 پرده مات پخش‌کننده
3 وسیله اندازه‌گیری‌شونده
4 آشکارساز

شکل ۱ – طرح‌وارهٔ چیدمان اندازه‌گیری چشمه‌های بسیار واگرا

۶-۱-۳ اندازه‌گیری RIN

چیدمان اندازه‌گیری برای تعیین RIN در شکل ۲ نشان داده شده است. باریکه از میان عدسی، تضعیف‌کننده یا محیط اتلافی دیگر منتشر می‌شود و به آشکارساز می‌رسد. در هنگام تنظیم چیدمان اندازه‌گیری، برای اجتناب از خطاهای اندازه‌گیری باید بازخورد توان خروجی به لیزر، کمینه شود.

مقدار RIN، یا $R(f)$ در صفحه مرجع A، قبل از هرگونه اتلافی، تعیین می‌شود. مؤلفهٔ پواسون[1] RIN در صفحهٔ B به واسطه اتلاف و در صفحهٔ C هم به‌علت ناکارآمدی فرایند آشکارسازی افزایش می‌یابد.

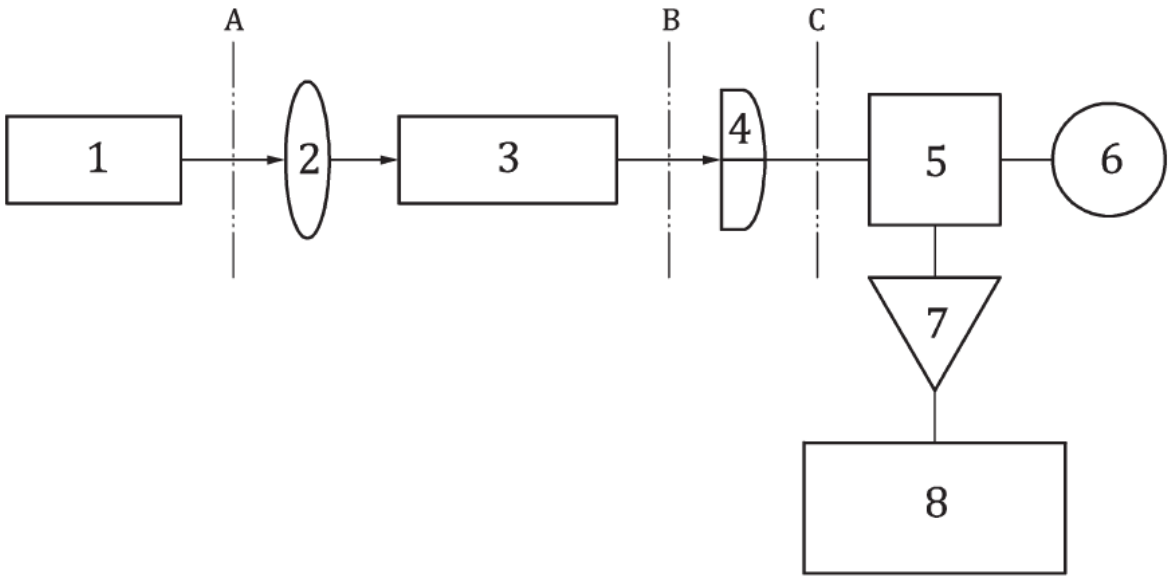
یادآوری- برای شرح مؤلفه‌های مختلف RIN، به پیوست **الف** مراجعه شود.

شکافنده الکتریکی سیگنال آشکارساز dc تولید شده توسط لیزر آزمون را برای اندازه‌گیری RIN، درحالی‌که نوفه الکتریکی ac تقویت شده و سپس در تحلیلگر طیف الکتریکی نمایش داده می‌شود، به یک دستگاه اندازه‌گیر می‌فرستد. RIN به کمیت‌های متعددی بستگی دارد، اساسی‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- بسامد؛
- توان خروجی؛
- دما؛
- بسامد مدولاسیون؛
- تأخیر زمانی و بزرگی بازخورد اپتیکی؛
- نرخ فرونشانی مد[2]؛
- بسامد نوسان واهلشی[3].

بنابراین توصیه می‌شود در طی فرایند اندازه‌گیری، نوسانات یا تغییرات در این کمیت‌ها کمینه شود.

1- Poisson
2- Mode suppression ratio
3- Relaxation



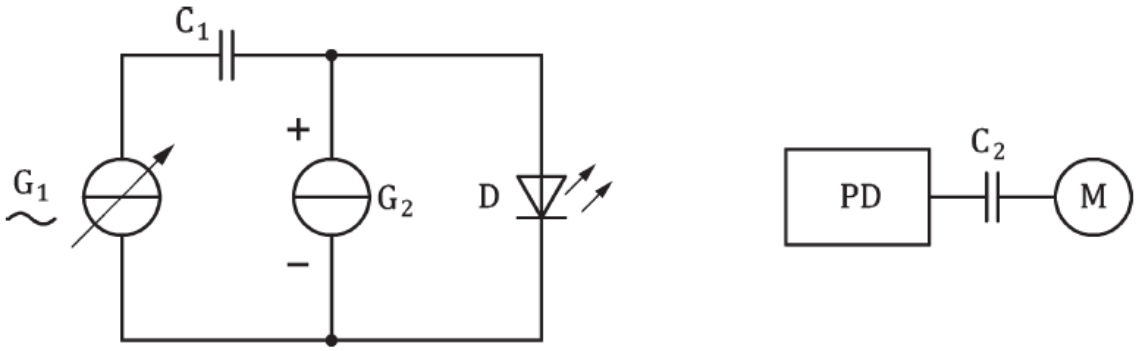
راهنما:

1	لیزر	7	پیش-تقویت‌کننده
2	عدسی	8	تحلیلگر طیف الکتریکی
3	تضعیف‌کننده یا محیط اتلافی دیگر	A	صفحه مرجع تعریف‌کننده RIN
4	آشکارساز	B	افزایش مولفه پواسون RIN ناشی از اتلاف
5	شکافنده الکتریکی	C	آشکارسازی به‌انضمام نوفه RIN
6	وسیله اندازه‌گیری		

شکل ۲– طرح‌وارهٔ چیدمان اندازه‌گیری برای تعیین RIN

۶-۱-۴ اندازه‌گیری بسامد قطع سیگنال کوچک

برای تعیین بسامد قطع سیگنال کوچکِ، f_c، لیزرها، همان‌طور که در زیربند ۷-۱۰ شرح داده شده است، لیزر مدوله شده و توان خروجی ac اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۳ چیدمان اندازه‌گیری پایه‌ای برای لیزرهای دیودی را نشان می‌دهد. در زمان تنظیم چیدمان اندازه‌گیری، برای اجتناب از خطاهای اندازه‌گیری باید بازخورد توان خروجی به لیزر، کمینه شود.



راهنما:

D	وسیله اندازه‌گیری‌شونده	G1	مولد ac با بسامد قابل تنظیم
PD	آشکارساز (مانند آشکارساز نوری[1])	G2	مولد dc
M	دستگاه اندازه‌گیری توان خروجی ac لیزر دیودی	C1, C2	خازن‌های جفت‌شونده

شکل ۳– طرح‌وارهٔ چیدمان اندازه‌گیری برای تعیین بسامد قطع سیگنال کوچک لیزرهای دیودی

۶-۲ کنترل اثرات زیست محیطی

اقدامات احتیاطی مناسب مانند: ایزوله‌سازی ارتعاشات مکانیکی و صوتی چیدمان آزمون، حفاظت در برابر تابش فرعی[2]، پایدارسازی دمای آزمایشگاه و انتخاب تقویت‌گرهای با نوفه کم را به‌منظور اطمینان از این‌که سهم کل خطاها کمتر از ٪ ۱۰ عدم‌قطعیت مورد انتظار است، انجام دهید. همان‌طور که در بند ۷ آمده است با مسدود کردن مسیر باریکه و آشکارساز (برای مثال با یک مسدودکننده در درون تشدیدگر لیزر یا نزدیک به خروجی آن) اندازه‌گیری‌های زمینه بررسی شوند. مقدار انحراف معیار به‌دست آمده (مسیر باریکه مسدود) بر اساس ارزیابی شرح داده شده در بند ۸ باید کمتر از یک‌دهم مقدار به‌دست آمده از اندازه‌گیری باشد که در آن باریکه به آشکارساز می‌رسد.

۶-۳ آشکارسازها

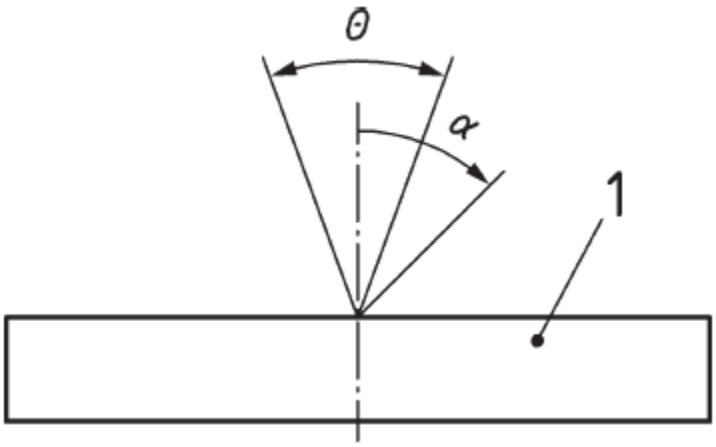
آشکارساز تابشی باید مطابق با استاندارد IEC 61040: 1990 به ویژه بندهای ۳ و ۴ آن باشد. علاوه بر آن، به نکات زیر باید توجه شود:

الف- توان‌سنج (انرژی‌سنج) کالیبره‌شده:

- هر گونه وابستگی به طول‌موج، غیرخطی بودن یا نایکنواختی آشکارساز یا وسیله الکترونیکی باید کمینه شده یا با استفاده از روش اجرایی کالیبراسیون، تصحیح شود؛

1- Photodetector
2- Extraneous radiation

- تنها زمانی می‌توان اندازه‌گیری مستقیم انجام داد، یعنی از آشکارساز با سطح تخت بدون نیاز به یک کره یکدست‌کننده استفاده کرد، که مشخص شود حداقل درون زاویه واگرایی باریکه فرودی، Θ، حساسیت آشکارساز یکنواخت و مستقل از زاویه فرود، α، باشد (به شکل ۴ مراجعه شود) و کل باریکه به سطح حساس آشکارساز برسد؛ توصیه می‌شود برای اندازه‌گیری باریکه‌های با واگرایی زیاد، به منظور حصول اطمینان از جمع‌آوری تمامی تابش گسیلی، از آشکارساز کره یکدست‌کننده استفاده شود (به ردیف ب زیربند ۶-۳ مراجعه شود)؛
- آشکارسازهای مورد استفاده در اندازه‌گیری‌های کمّی باید کالیبره بوده و قابلیت ردیابی با استانداردهای ملی و بین‌المللی مربوطه را داشته باشند.



راهنما:

1 آشکارساز تخت

□ زاویه واگرایی باریکه

α بیشینه زاویه پذیرش

شکل ۴– آشکارساز تخت– نمایش زاویه‌ها

ب- کره یکدست‌کننده کالیبره‌شده:

- سطح دهانه‌های کره باید در مقایسه با کل سطح کره کوچک باشد؛
- سطح داخلی کره و صفحه باید دارای لایهٔ پخش‌کنندهٔ یکنواخت با بازتابندگی بالا ($\rho > ۰٫۹$) باشد؛
- اتلاف کل دریچه‌های کره باید کمتر از ٪ ۵ باشد؛
- اگر وسیله اندازه‌گیری داخل کره نصب شده باشد، باید سطح کره در مقایسه با سطح وسیله، صفحه نمایش و روزنه‌ها بزرگ باشد؛

- مجموعهٔ کره و آشکارساز باید کالیبره بوده و قابلیت‌ردیابی به استانداردهای ملی و بین‌المللی مربوطه را داشته باشند.

پ- آشکارساز با تفکیک زمانی:

- از داده‌های سازنده یا به‌وسیلهٔ اندازه‌گیری، باید تأیید شود که وابستگی مقدار خروجی آشکارساز (به عنوان مثال ولتاژ) به مقدار ورودی (مانند توان لیزر) خطی است؛ هر وابستگی طول‌موجی، غیرخطی بودن یا نایکنواختی آشکارساز و هر وسیلهٔ الکترونیکی مربوطه، باید کمینه شده و یا با استفاده از روش اجرایی کالیبراسیون تصحیح شود؛
- پهنای باند بسامد الکتریکی آشکارساز، شامل پهنای باند تمامی قطعات الکترونیکی مربوطه، باید به‌طور صحیح شکل زمانی تپ لیزر را بازتولید کند.

هنگام اندازه‌گیری مشخصه‌های شکل تپ (به عنوان مثال قلهٔ توان، پهنای تپ و غیره)، زمان خیز و زمان افت آشکارساز (شامل تقویت‌گر و سایر قطعات الکترونیکی مربوطه) باید کمتر از یک‌دهم زمان خیز و زمان افت تپ‌های اندازه‌گیری‌شونده باشد.

هنگام اندازه‌گیری بسامد قطع سیگنال کوچک، آشکارساز باید دارای پاسخ بسامدی بزرگ‌تر از $3f_c$ باشد.

باید اطمینان حاصل شود که شدت باریکه لیزر تابشی از آستانه تخریب (برای تابندگی، پرتوگیری تابشی، توان و انرژی) سطح آشکارساز و تمام عناصر اپتیکی قرار گرفته بین لیزر و آشکارساز (به عنوان مثال قطبنده[1]، تضعیف‌کننده) فراتر نرود.

۶-۴ اپتیک شکل‌دهی باریکه

اگر سطح مقطع باریکه بزرگ‌تر از سطح آشکارساز باشد، باید از سامانه اپتیکی مناسب استفاده شود تا سطح مقطع باریکه لیزر را بر روی سطح آشکارساز تصویر کند.

اپتیک به‌کار رفته باید متناسب با طول موج پرتو لیزر اندازه‌گیری‌شونده باشد. اتلاف ناشی از جذب/ بازتاب/ قطع/ پراش باید اندازه‌گیری و در تمام اندازه‌گیری‌ها لحاظ شود. اگر بازتاب‌های وابسته به قطبش وجود داشته باشند، حالت قطبش تابش لیزر باید در نظر گرفته شود.

۶-۵ تضعیف‌کننده‌های اپتیکی

در صورت لزوم، برای کاهش چگالی توان لیزر روی سطح آشکارساز می‌توان از تضعیف‌کننده استفاده کرد.

تضعیف‌کننده‌های اپتیکی باید زمانی استفاده شوند که توان یا چگالی توان لیزر خروجی از محدوده (خطی) کاری یا آستانه تخریب سطح آشکارساز بیشتر باشد. هر وابستگی طول موجی، وابستگی قطبشی، وابستگی

1- Polarizer

زاویه‌ای، غیرخطی بودن یا نایکنواختی فضایی تضعیف‌کننده اپتیکی باید کمینه شده یا با استفاده از روش اجرایی کالیبراسیون تصحیح شود.

۷ اندازه‌گیری‌ها

۷-۱ کلیات

اگر روش مشخصی بیان نشده باشد، تمامی اندازه‌گیری‌ها را ۱۰ مرتبه، با اعمال فاصله‌هایی در اندازه‌گیری‌های زمینه، انجام دهید.

قبل از شروع اندازه‌گیری، لیزر باید مطابق با مشخصات سازنده پیش‌گرمایش شود تا به تعادل گرمایی برسد. اندازه‌گیری‌ها را در شرایط کاری مشخص شده توسط سازنده برای هر نوع لیزر مورد ارزیابی انجام دهید.

۷-۲ توان لیزرهای موج‌پیوسته

توان را با توان‌سنج کالیبره‌شده، و در صورت نیاز با استفاده از تضعیف‌کننده کالیبره‌شده، اندازه‌گیری کنید.

۷-۳ پایداری توان لیزرهای موج‌پیوسته

برای تعیین پایداری کوتاه مدت، بازه زمانی اندازه‌گیری ۱ ms است. در هر ۱ µs از باریکه نمونه‌برداری می‌شود. ثابت زمانی سامانه آشکارسازی باید کوچک‌تر یا مساوی $^{1}/_{3}$ µs باشد.

برای تعیین پایداری کوتاه-میان مدت، بازه زمانی اندازه‌گیری ۱ s است. در هر ۱ ms از باریکه نمونه‌برداری می‌شود. ثابت زمانی سامانه آشکارسازی باید کوچک‌تر یا مساوی $^{1}/_{3}$ ms باشد.

برای تعیین پایداری میان مدت، بازه زمانی اندازه‌گیری ۱ min است. در هر $^{1}/_{10}$ s از باریکه نمونه‌برداری می‌شود. ثابت زمانی سامانه آشکارسازی باید کوچک‌تر یا مساوی $^{1}/_{30}$ s باشد. باید از همگام‌سازی[1] با منبع تغذیه الکتریکی لیزر خودداری شود.

برای تعیین پایداری بلند مدت، بازه زمانی اندازه‌گیری ۱ h است. در هر ۱ s از باریکه نمونه‌برداری می‌شود. ثابت زمانی سامانه آشکارسازی باید کوچک‌تر یا مساوی $^{1}/_{3}$ s باشد.

خوانش‌های بیشینه و کمینه را ثبت کنید.

برای مشخصه‌یابی نوفه بسامد بالا، همان‌طور که در زیربند ۶-۱-۳ شرح داده شده است، RIN را اندازه بگیرید.

1- Synchronization

۷-۴ انرژی تپ لیزرهای تپی

انرژی یک تپ تنها را با انرژی‌سنج کالیبره‌شده، و در صورت نیاز با استفاده از تضعیف‌کننده کالیبره‌شده، اندازه‌گیری کنید.

۷-۵ پایداری انرژی لیزرهای تپی

اندازه‌گیری را بر اساس زیربند ۷-۴ برای ۱۰۰ تپ، در صورت امکان تپ‌های متوالی، انجام شود. در حالتی‌که این کار امکان‌پذیر نباشد، از ۱۰۰ تپ غیرمتوالی هم می‌توان استفاده کرد. روش‌اجرایی مورد استفاده را در گزارش آزمون بیاورید.

خوانش‌های بیشینه و کمینه را ثبت کنید.

۷-۶ شکل زمانی تپ، دیرش تپ، زمان خیز، زمان اُفت و قلهٔ توان

شکل زمانی تپ را با آشکارساز شرح داده شده در زیربند ۶-۳ اندازه‌گیری کنید. برای تعیین قلهٔ توان، اگر آشکارساز تپ نتواند مستقیماً توان مطلق را اندازه‌گیری کند (برای مثال کالیبره نباشد یا برای جمع‌کردن تمامی باریکه کوچک باشد)، انرژی تپ را در همان زمان مطابق با زیربند ۷-۴ اندازه‌گیری کنید.

۷-۷ پایداری دیرش تپ

دیرش را برای ۱۰۰ تپ همان‌طور که در زیربند ۷-۶ شرح داده شده است، اندازه‌گیری کنید.

خوانش‌های بیشینه و کمینه را ثبت کنید.

۷-۸ آهنگ تکرار تپ

برای اندازه‌گیری آهنگ تکرار تپ از سیگنال خروجی آشکارساز، از شمارنده بسامد می‌توان استفاده کرد. باید در روش انتخاب‌شده برای شلیک شمارنده دقت شود تا از شلیک نادرست یا دوگانه شمارنده خودداری شود. هنگامی‌که تپ لیزر بیش از یک قله داشته باشد، این موضوع نیازمند توجه ویژه است. برای مشاهده توان برحسب زمان شکل موج خروجی آشکارساز می‌توان از اسیلوسکوپ و یا ثبات گذرا[1] استفاده کرد.

روش جایگزین دیگر برای تعیین دوره تناوب تکرار تپ T، اندازه‌گیری زمان بین دو تپ متوالی از خروجی آشکارساز است. آهنگ تکرار تپ، f_{p}، از وارون دوره تناوب تکرار تپ، T، به‌دست می‌آید.

$$f_{\mathrm{p}} = {}^{1}/_{T} \qquad (۲)$$

1- Transient recorder

۷-۹ نوفه شدت نسبی، RIN

لیزر را در توان خروجی مشخص‌شدهٔ آن راه‌اندازی کنید. با استفاده از تحلیل‌گر طیفی الکتریکی (به شکل ۲ مراجعه شود) در بسامد مرکزی مشخص شده با پهنای باند نوفه معادل مشخص شده، توان نوفه را اندازه‌گیری کنید. همزمان نورجریان[1] آشکارساز را ثبت کنید. سپس، عبارات نوفه شلیک و گرمایی را از مقدار توان نوفه اندازه‌گیری‌شده براساس نورجریان ثبت‌شده یا اندازه‌گیری‌شده با استفاده از توان نوفه یک چشمه نوری پهن‌باند مانند LED، حذف کنید. این کار هم‌ارز با $\langle \Delta P(f)^2 \rangle$ در فرمول (۱) است. سپس RIN را با استفاده از فرمول (۱) محاسبه کنید.

۷-۱۰ بسامد قطع سیگنال کوچک

لیزر را در توان خروجی مشخص‌شدهٔ آن راه‌اندازی کنید. لیزر را با استفاده از مولد G_1 (به شکل ۳ مراجعه شود) در یک بسامد کم (کمتر از $f_c/100$)، مدوله کرده و توان خروجی ac لیزر دیودی را با دستگاه اندازه‌گیری M، اندازه‌گیری کنید. در حالی‌که سطح مدولاسیون را ثابت نگه می‌دارید، بسامد مدولاسیون را افزایش دهید تا این‌که توان خروجی لیزر دیودی که توسط دستگاه اندازه‌گیری M نشان داده می‌شود، به نصف مقدار بسامد کم آن برسد.

این بسامد، بسامد قطع سیگنال کوچک، f_c ، است.

۸ ارزیابی

۸-۱ کلیات

انحراف معیار، s، از n خوانش m_i، طبق فرمول (۳) به‌دست می‌آید:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(m_i - \bar{m})^2}{n-1}} \qquad (۳)$$

که در آن مقدار میانگین از فرمول (۴) به‌دست می‌آید:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i}{n} \qquad (۴)$$

انحراف معیارِ مقدار میانگین، $s_{\bar{m}}$، از فرمول (۵) محاسبه می‌شود:

$$s_{\bar{m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(m_i - \bar{m})^2}{n(n-1)}} \qquad (۵)$$

1- Photocurrent

عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافتهٔ مقدار میانگین $\overline{m}$، $U_{\mathrm{rel}}(\overline{m})$، باید از انحراف معیارِ مقدار میانگین، $s_{\overline{m}}$، و عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافتهٔ ضریب کالیبراسیون، $U_{\mathrm{rel}}(C)$، با استفاده از فرمول (۶) تعیین شود:

$$U_{\mathrm{rel}}(\overline{m}) = \sqrt{\frac{4(s_{\overline{m}})^2}{\overline{m}^2} + [U_{\mathrm{rel}}(C)]^2} \qquad (۶)$$

که در آن

$$U_{\mathrm{rel}}(C) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}[U_{\mathrm{rel}}(C_i)]^2} \qquad (۷)$$

$U_{\mathrm{rel}}(C_i)$، بیانگر عدم‌قطعیت‌های نسبی بسط‌یافته ضرایب کالیبراسیون برای مؤلفه‌های مختلف سامانه اندازه‌گیری مانند: آشکارساز، تضعیف‌کننده و تجهیزات اندازه‌گیری الکترونیکی است. عدم‌قطعیت‌های نسبی بسط‌یافته، U_{rel}، در سطح اطمینان ٪ ۹۵ تعیین می‌شوند (ضریب تصحیح k = ۲).

یادآوری- برای جزئیات بیشتر دربارهٔ سطح اطمینان ٪ ۹۵، به استاندارد ISO 2602[1] مراجعه شود.

۸-۲ توان لیزرهای موج‌پیوسته

توان، $\bar{P}$، که باید تعیین شود، مقدار میانگین حداقل ۱۰ اندازه‌گیری جداگانه انجام شده مطابق با زیربند ۷-۲ است. این کار برای تخمین تغییرات اندازه‌گیری لازم است.

با استفاده از انحراف معیارِ مقدار میانگین ، $s_{\bar{P}}$، و عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافتهٔ ضریب کالیبراسیون، $U_{\mathrm{rel}}(C)$، عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته، $U_{\mathrm{rel}}(\bar{P})$، را طبق فرمول (۸) محاسبه کنید:

$$U_{\mathrm{rel}}(\bar{P}) = \sqrt{\frac{4\left(s_{\bar{P}}\right)^2}{\bar{P}^2} + [U_{\mathrm{rel}}(C)]^2} \qquad (۸)$$

۸-۳ پایداری توان لیزرهای موج‌پیوسته

مقدار میانگین توان، $\bar{P}$، و انحراف معیار متناظر، s، را برای بازه‌های زمانی پایداری مناسب (کوتاه مدت، کوتاه–میان مدت، میان مدت و بلند مدت) مطابق با زیربند ۷-۳ محاسبه کنید.

پایداری توان به‌صورت افت و خیز توان نسبی، ΔP، در بازه زمانی پایداری متناظر طبق فرمول (۹) محاسبه می‌شود.

$$\Delta P = \frac{2S}{\bar{P}} \qquad (۹)$$

در حوزه الکتریکی برای تعیین RIN، $R(f)$، توان نوفه بر واحد پهنای باند بسامد، $P_E(f)$، با یک تحلیل‌گر طیفی الکتریکی اندازه‌گیری و با تابع کالیبراسیون وابسته به بسامد سامانه آشکارساز، $C(f)$، وزن داده می‌شود[1] و بر توان dc الکتریکی، P، تقسیم می‌شود. اگر تلفات سامانه نیز در نظر گرفته شود، RIN با فرمول (۱۰) به‌دست می‌آید:

$$R(f) = \frac{P_E(f)}{P \cdot C(f)} \qquad (۱۰)$$

که در آن $P_E(f)$ نوفه بعد از تفریق کف نوفه گرمایی[2] است.

۸-۴ انرژی تپ لیزرهای تپی

انرژی تپ، $\bar{Q}$، به‌صورت مقدار میانگین ۱۰ اندازه‌گیری جداگانه مطابق با زیربند ۷-۴ محاسبه کنید.

با استفاده از انحراف معیارِ مقدار میانگین، $s_{\bar{Q}}$، و عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته ضریب کالیبراسیون، $U_{\mathrm{rel}}(C)$، عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته، $U_{\mathrm{rel}}(\bar{Q})$، را طبق فرمول (۱۱) محاسبه کنید:

$$U_{rel}(\bar{Q}) = \sqrt{\frac{4\left(s_{\bar{Q}}\right)^2}{\bar{Q}^2} + [U_{rel}(C)]^2} \qquad (۱۱)$$

۸-۵ پایداری انرژی لیزرهای تپی

مقدار میانگین انرژی تپ، $\bar{Q}$، و انحراف معیار، s، را از خوانش‌های Q_i مطابق با زیر بند ۷-۵ محاسبه کنید.

پایداری انرژی تپ به‌صورت افت و خیز نسبی انرژی تپ ΔQ، طبق فرمول (۱۲) داده می‌شود:

$$\Delta Q = \frac{2s}{\bar{Q}} \qquad (۱۲)$$

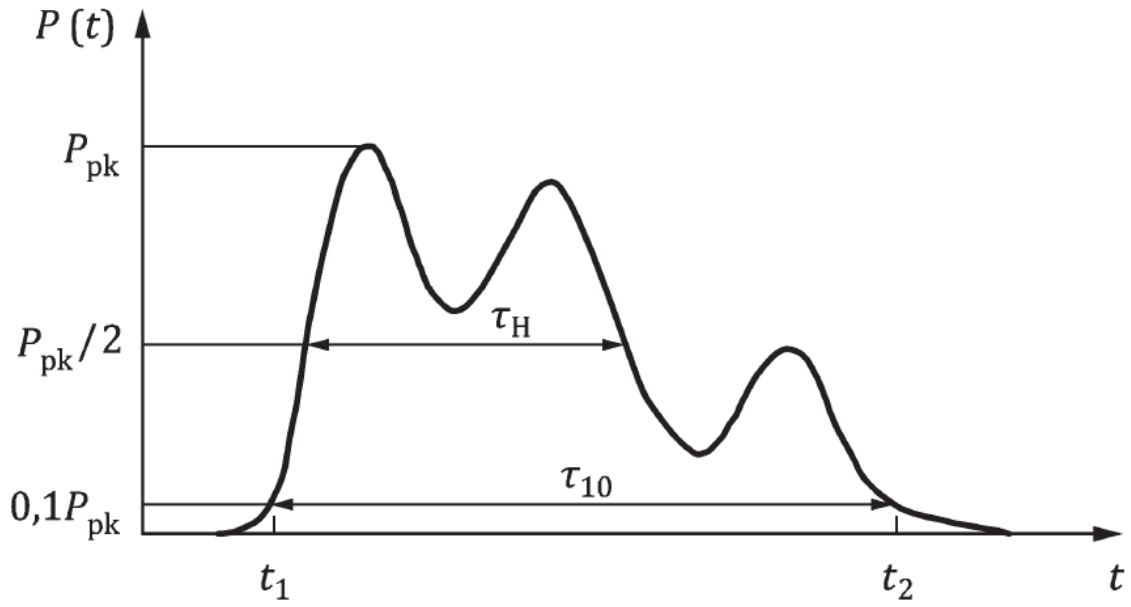
۸-۶ شکل زمانی تپ، دیرش تپ، زمان خیز، زمان اُفت و قلهٔ توان

از نیم‌رخ‌های زمانی توان لیزر می‌توان پارامترهای زیر را به‌دست آورد (به شکل ۵ مراجعه شود):

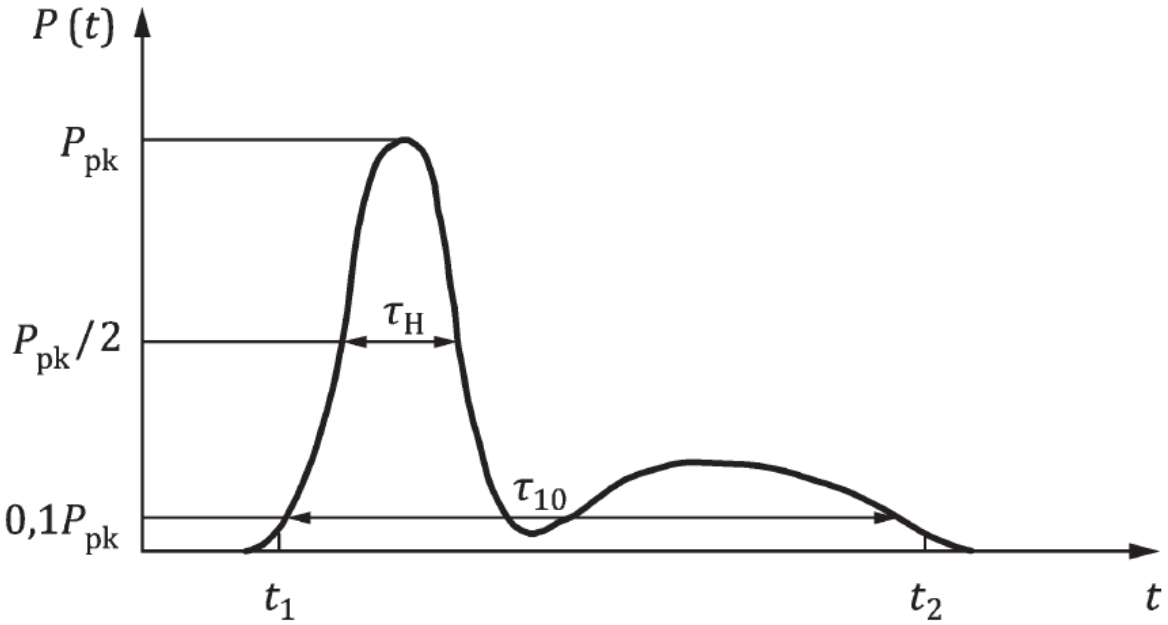
- دیرش تپ، τ_{H}، که بیشینه بازه زمانی بین دو نقطه زمانی است که در آن‌ها توان به نصف قلهٔ توان $(P_{\mathrm{pk}}/2)$ می‌رسد؛
- دیرش تپ ٪ ۱۰، τ_{10}، که بیشینه بازه زمانی بین دو نقطه زمانی است که در آن‌ها توان به $^1/_{10}$ قلهٔ توان $(0.1P_{\mathrm{pk}})$ می‌رسد.

اگر تپ لیزر دارای یک تپ پرتوان با پهنای باریک در شروع و یک تپ کم توان با دیرش بلند در بخش انتهایی تپ لیزر باشد (مانند لیزر TEA، به شکل ۶ مراجعه شود)، لازم است که هر دو زمان مشخص شوند.

1- Weighted
2- Thermal noise floor



شکل ۵- مثالی از تغییرات توان تابشی یک تپ لیزری با زمان



شکل ۶- مثالی از تغییرات توان تابشی تپ یک لیزر TEA با زمان

- زمان خیز، τ_R، که فاصله زمانی بین دو نقطه زمانی است که در آن‌ها توان لیزر از ٪ ۱۰ ($0,1\ P_{pk}$) قلهٔ توان به ٪ ۹۰ ($0,9\ P_{pk}$) آن می‌رسد (به شکل ۷ مراجعه شود).

- زمان اُفت، τ_{F}، که فاصله زمانی بین دو نقطه زمانی است که در آن‌ها توان لیزر از ٪ ۹۰ ($0{,}9\ P_{\mathrm{pk}}$) قلهٔ توان به ٪ ۱۰ ($0{,}1\ P_{\mathrm{pk}}$) آن اُفت می‌کند.

برای تپ‌های دارای بیشتر از یک نقطه ٪ ۹۰، یا بیشتر از یک نقطه ٪ ۱۰، زمان خیز، زمان اُفت یا دیرش تپ را نمی‌توان بدون ابهام تعریف کرد. در این حالت شکل زمانی تپ باید داده شود.

- شکل زمانی تپ، یعنی توان لیزری $P(t)$ به‌صورت تابعی از زمان، با سیگنال الکتریکی خروجی آشکارساز $s(t)$ نشان داده می‌شود. زمانی‌که از یک آشکارساز انرژی تپ برای تعیین Q، همان‌طور که در زیربند ۷-۶ شرح داده شده، همراه با یک آشکارساز کالیبره‌نشده برای اندازه‌گیری شکل تپ استفاده می‌شود، شکل کمی تپ طبق فرمول (۱۳) به‌دست می‌آید:

$$P(t) = \frac{S(t)Q}{\int_{t_1}^{t_2} S(t)dt} \qquad (۱۳)$$

که در آن حدود انتگرال t_1 و t_2 به‌صورت $t_2 = t$ و t_1 [که در آن $S(t) \leq 0{,}1\ \mathrm{S_{max}}$] تعیین می‌شوند (به شکل ۵ مراجعه شود). انرژی تپ Q، مطابق با مقررات زیربندهای ۷-۴ و ۸-۴ اندازه‌گیری و ارزیابی می‌شود.

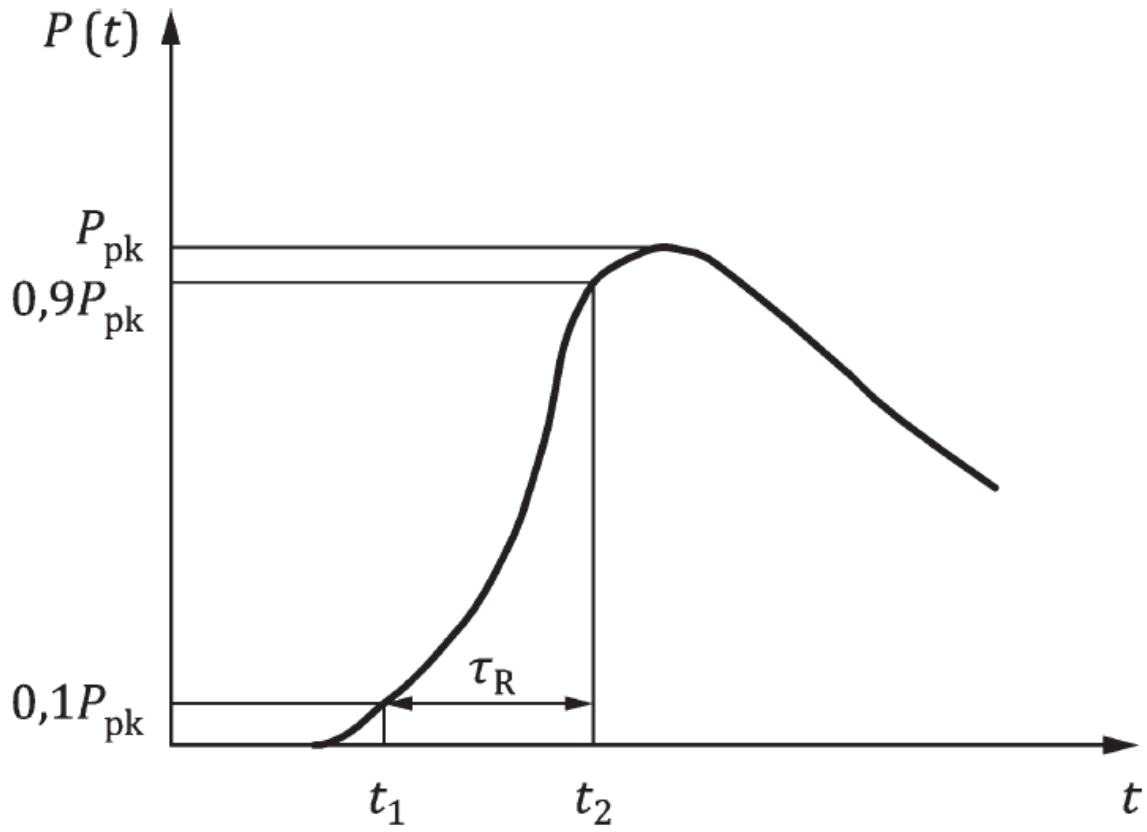
- قلهٔ توان P_{pk} تپ طبق فرمول (۱۴) محاسبه می‌شود:

$$P_{pk} = \frac{S_{max}Q}{\int_{t_1}^{t_2} S(t)dt} \qquad (۱۴)$$

که در آن S_{max} بیانگر مقدار قله‌ای سیگنال آشکارساز $S(t)$ است.

یادآوری – اگر نیازی به اندازه‌گیری انرژی تپ نباشد (یعنی آشکارساز مورد استفاده برای تعیین شکل تپ دارای پاسخ‌دهی کالیبره‌شده برحسب توان مطلق باشد)، آنگاه $P(t)$ و S_{pk} را می‌توان مستقیماً از $S(t)$ تعیین کرد.

همان‌طور که در زیربند ۸-۱ شرح داده شده است، مقادیر میانگین τ_{H}، τ_{10}، τ_{R}، τ_{F} و P_{Pk} و همچنین عدم‌قطعیت‌های نسبی بسط‌یافته متناظر $U_{\mathrm{rel}}(\bar{\tau}_{\mathrm{H}})$، $U_{\mathrm{rel}}(\bar{\tau}_{10})$، $U_{\mathrm{rel}}(\bar{\tau}_{\mathrm{R}})$، $U_{\mathrm{rel}}(\bar{\tau}_{\mathrm{F}})$ و $U_{rel}(\bar{P}_{Pk})$ را با استفاده از انحراف معیارهای مقادیر میانگین متناظر، $s_{\bar{m}}$، و همچنین عدم‌قطعیت‌های نسبی بسط‌یافته ضرایب کالیبراسیون متناظر، $U_{\mathrm{rel}}(C)$ محاسبه کنید.



شکل ۷- مثالی از اندازه‌گیری زمان خیز

۸-۷ پایداری دیرش تپ

افت و خیز دیرش تپ نسبی $\Delta\tau_{\mathrm{H}}$ (یا $\Delta\tau_{10}$) را از مقدار میانگین $\bar{\tau}_H$ (یا $\bar{\tau}_{10}$) و انحراف معیار s_H (یا s_{10}) برای ۱۰۰ مقدار تعیین شده مطابق با زیربند ۷-۷ طبق فرمول (۱۵) محاسبه کنید.

$$\Delta\tau_{\mathrm{H}} = \frac{2s_{\mathrm{H}}}{\bar{\tau}_{\mathrm{H}}} \quad \text{یا} \quad \Delta\tau_{10} = \frac{2s_{10}}{\bar{\tau}_{10}} \tag{۱۵}$$

۸-۸ آهنگ تکرار تپ

آهنگ تکرار تپ را به‌صورت مقدار میانگین نتایج اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند ۸-۷ محاسبه کنید.

عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته، $U_{\mathrm{rel}}(\bar{f}_{\mathrm{P}})$، را با استفاده از انحراف معیار مقدار میانگین، $s_{\bar{f}_{\mathrm{P}}}$، و عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته ضریب کالیبراسیون، $U_{\mathrm{rel}}(C_{\mathrm{T}})$، برای مبنای زمانی یا شمارنده بسامد طبق فرمول (۱۶) محاسبه کنید:

$$U_{\mathrm{rel}}(\bar{f}_{\mathrm{P}}) = \sqrt{\frac{4\left(s_{\bar{f}_{\mathrm{P}}}\right)^2}{\bar{f}_{\mathrm{P}}{}^2} + [\mathrm{U}_{\mathrm{rel}}(C_{\mathrm{T}})]^2} \tag{۱۶}$$

۸-۹ نوفه شدت نسبی، RIN

با استفاده از فرمول (۱)، RIN را از مقدار میانگین نتایج اندازه‌گیری‌های انجام‌شده مطابق با زیربند ۷-۹ محاسبه کنید. توصیه می‌شود در هنگام محاسبه نوفه، مقدار بهره دستگاه اندازه‌گیری مورد توجه قرار گیرد.

۸-۱۰ بسامد قطع سیگنال کوچک

بسامد قطع سیگنال کوچک را به‌صورت مقدار میانگین نتایج اندازه‌گیری‌های مطابق زیربند ۷-۱۰ محاسبه کنید.

۹ گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد.

الف- اطلاعات کلی:

۱- آزمون مطابق با این استاندارد ملی انجام شده است؛

۲- تاریخ انجام آزمون؛

۳- نام و نشانی سازمان انجام‌دهندهٔ آزمون؛

۴- نام شخص آزمون‌گر.

ب- اطلاعات مرتبط با لیزر آزموده شده:

۱- نوع لیزر؛

۲- سازنده؛

۳- نام مُدل تخصیص داده شده توسط سازنده؛

۴- شماره سریال.

پ- شرایط آزمون:

۱- طول‌موج(های) آزموده شده لیزر؛

۲- دما برحسب کلوین K (خنک‌کننده لیزر دیودی) (فقط برای لیزرهای دیودی استفاده می‌شود)؛

۳- حالت کاری (پیوسته/تپی)؛

۴- تنظیمات پارامترهای لیزر:

- توان یا انرژی خروجی،
- جریان یا انرژی ورودی،

- انرژی تپ،
- دیرش تپ،
- آهنگ تکرار تپ؛

۵- ساختار مدی؛

۶- قطبش؛

۷- شرایط محیطی.

ت- اطلاعات مرتبط با آزمون و ارزیابی:

۱- روش آزمون مورد استفاده؛

۲- سامانه آشکارسازی و نمونه‌برداری:

- زمان پاسخ سامانه آشکارساز،
- تأخیر شلیک نمونه‌برداری (فقط برای لیزرهای تپی)،
- فاصله زمانی اندازه‌گیری (فقط برای لیزرهای تپی)؛

۳- اپتیک شکل‌دهی باریکه و روش تضعیف:

- نوع تضعیف‌کننده،
- نوع باریکه‌شکاف[1]،
- نوع قطعه کانونی‌کننده؛

۴- قطعات اپتیکی و وسیله‌های مورد استفاده دیگر در آزمون (قطبنده، تک‌فام‌ساز[2]، ...)؛

۵- پارامترها یا مشخصه‌های مرتبط دیگر آزمون که باید انتخاب شوند (تنظیم روزنه، صفحه مرجع، محور مرجع، دستگاه مختصات آزمایشگاه).

ث- نتایج آزمون:

۱- برای اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند ۷-۲:

- توان، $\bar{P}$،
- عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته اندازه‌گیری، $U_{\mathrm{rel}}(\bar{P})$؛

۲- برای اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند ۷-۳:

1- Beam splitter
2- Monochromator

- افت و خیز توان نسبی، ΔP، برای بازه نمونه‌برداری مناسب [$\Delta P(1\ \mu s)$ و/یـا $\Delta P(1\ ms)$ و/یا $\Delta P(0.1\ s)$ و/یا $\Delta P(1\ s)$]،
- خوانش‌های بیشینه و کمینه مقدار توان در طی آزمون،
- $R(f)$, RIN در بسامد f یا در بازهٔ بسامدی $[f_1,f_2]$؛

۳- برای اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند ۷-۴:

- انرژی تپ، $\bar{Q}$،
- عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته اندازه‌گیری، $U_{\mathrm{rel}}(\bar{Q})$؛

۴- برای اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند ۷-۵:

- افت و خیز انرژی تپ نسبی، ΔQ،
- روش اجرایی انتخابی، اگر تپ‌های انتخاب‌شده متوالی نباشند،
- بیشینه و کمینه خوانش‌های انرژی در طول آزمون؛

۵- برای اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند ۷-۶:

- دیرش تپ، $\bar{\tau}_{\mathrm{H}}$،
- دیرش تپ ٪ ۱۰، $\bar{\tau}_{10}$،
- زمان خیز، $\bar{\tau}_{\mathrm{R}}$،
- زمان اُفت، $\bar{\tau}_{\mathrm{F}}$،
- نمودار یک شکل زمانی تپ نوعی، $P(t)$، (یعنی نیم‌رخ زمانی تپ لیزری)،
- قلهٔ توان تپ، $\bar{P}_{Pk}$،
- عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته متناظر مقادیر میانگین، U_{rel}؛

۶- برای اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند۷-۷:

- افت و خیز دیرش تپ نسبی، $\Delta\tau$، ($\Delta\tau_{\mathrm{H}}$ و/یا $\Delta\tau_{10}$)،
- بیشینه و کمینه خوانش دیرش تپ در طول آزمون؛

۷- برای اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند ۷-۸:

- آهنگ تکرار تپ، $\bar{f}_P$،
- عدم‌قطعیت نسبی بسط‌یافته اندازه‌گیری، $U_{\mathrm{rel}}(\bar{f}_{\mathrm{P}})$؛

۸- برای اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند ۷-۹:

- بسامد مرکزی و پهنای باند نوفه معادل،
- نوفه شدت نسبی RIN، $R(f)$؛

۹- برای اندازه‌گیری‌های مطابق با زیربند ۷-۱۰:

- بسامد قطع سیگنال کوچک، $\bar{f}_c$.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

نوفه شدت نسبی (RIN)

در حوزه زمان، توان اپتیکی $P(t)$ را می‌توان به‌صورت $P(t) = P_0 + \Delta P(t)$ نوشت، که در آن $P_0 = \langle P \rangle$ توان میانگین بوده و $\Delta P(t)$ افت و خیزهای توان را بیان می‌کند.

در حوزه بسامد، نوفه شدت نسبی، $R(f)$، چگالی طیفی یک‌سویه افت وخیزهای توان بهنجار شده به P_0^2 است:

$$R(f) = \frac{S_{\Delta p}(f)}{P_0^2} \qquad \text{(الف-۱)}$$

که در آن:

$S_{\Delta p}(f) = \lim_{T\to\infty} \frac{4\pi|V_T(f)|^2}{T}$ با $V_T(f) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \Delta P(t) e^{-2\pi i f t} dt$ است.

به‌عنوان جایگزین، می‌توان $R(f)$ را از تابع خود-همبسته زیر محاسبه کرد:

$$C_{\Delta P}(\tau) = \langle \Delta P(t) \Delta P(t+\tau) \rangle \qquad \text{(الف-۲)}$$

چرا که می‌توان نشان داد (قضیه وینر-خیتچین[1]، به مرجع [۵] کتاب‌نامه مراجعه شود) که تبدیل فوریه $C_{\Delta P}(\tau)$، تابع چگالی نسبی $S_{\Delta P}(f)$ است:

$$S_{\Delta P}(f) = 4 \int_0^\infty C_{\Delta P}(\tau)\, e^{-2\pi i f \tau} d\tau \qquad \text{(الف-۳)}$$

نسبت سیگنال به نوفه، SNR، یک سامانه با پهنای باند $[f_L, f_H]$، وارون انتگرال RIN بر روی کلیه مؤلفه‌های طیفی افت و خیزهای توان در محدوده پهنای باند سامانه است:

$$\text{SNR} = \frac{P_0^2}{\langle \Delta P(t)^2 \rangle} = \left[\int_{f_L}^{f_H} R(f) df \right]^{-1} \qquad \text{(الف-۴)}$$

از آن‌جا که توان الکتریکی، P_E، متناسب با مربع جریان i و بنابر این، مربع توان اپتیکی P_{opt} است:

$$P_E \propto i^2 \propto P_{opt}^2 \qquad \text{(الف-۵)}$$

این تعریف با تعریف SNR الکتریکی که نسبت توان‌های (الکتریکی) $P_{signal}/P_{noise} = P_{AC}/P_{DC}$ است، سازگاری دارد.

نوفه لیزری شامل دو مؤلفه نوفه پواسون و نوفه افزوده است.

1- Wiener-Khintchine theorem

مؤلفه پواسون RIN مستقیماً به طبیعت کوانتومی تابش همدوس مربوط است:

$$R(f)\mathrm{d}f = \frac{2}{n_t}\mathrm{d}f \qquad \text{(الف-۶)}$$

که در آن $n_t = \mathrm{d}n/\mathrm{d}t$ تعداد فوتون‌های تابش با بسامد، v، بر واحد زمان است.

با اعمال فرمول (الف-۷)

$$n_t = \frac{P_0}{hv} \qquad \text{(الف-۷)}$$

که در آن h، ثابت پلانک است، فرمول (الف-۸) به‌دست می‌آید:

$$R(f)\mathrm{d}f = \frac{2hv}{p_0}\mathrm{d}f \qquad \text{(الف-۸)}$$

این کمینه نوفه شدت نسبی قابل دستیابی با تابش کلاسیک (لیزری) است، که اغلب حد کوانتومی استاندارد نامیده می‌شود.

مؤلفه RIN افزوده، انحراف از RIN پواسون را توضیح می‌دهد و معمولاً مثبت است (به‌عنوان مثال به‌علت گسیل خود به خودی). یک استثناء تابش فشرده‌شده با RIN افزوده کوچکتر از صفر، اما نوفه فازی افزایش‌یافته است.

از آن‌جا که RIN پواسون به تعداد فوتون‌ها مربوط می‌شود، به‌طور معکوس متناسب با بازدهی سامانهٔ انتقال و آشکارسازی ، η، است، درحالی‌که RIN افزوده بدون تغییر باقی می‌ماند. علاوه براین، نوفه می‌تواند از منابع دیگری مانند نوفه شلیکی[1] یا نوفه جانسون مستقل از توان (نوفه گرمایی) آشکارسازها تولید شود. این نوفه‌ها به روش‌های مختلف بر نوفه پواسون و نوفه افزوده، تأثیر می‌گذارند که توصیه می‌شود هنگام محاسبه RIN لیزر در نظر گرفته شوند.

1- Shot noise

کتاب‌نامه

[1] ISO 2602, Statistical interpretation of test results — Estimation of the mean — Confidence interval

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۴۰: سال ۱۳۷۰، تعبیر آماری نتیجه‌های آزمون - برآورد میانگین فاصلهٔ اطمینان، با استفاده از استاندارد ISO 2602: 1973 تدوین شده است.

[2] ISO 12100, Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۱۰۰: سال ۱۳۹۰، ایمنی ماشین‌آلات – اصول کلی طراحی – ارزیابی ریسک و کاهش آن، با استفاده از استاندارد ISO 12100: 2010 تدوین شده است.

[3] ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)

[4] ISO/IEC Guide 99, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۴۷۲۳: سال ۱۳۹۰، واژه‌نامه اندازه‌شناسی– مفاهیم پایه و عمومی و اصلاحات مربوط با استفاده از استاندارد ISO/IEC GUIDE 99: 2007 تدوین شده است.

[5] Obarski G.E., & Splett J.D. *Transfer standard for the spectral density of relative intensity noise of optical fiber sources near 1550 nm*. J. Opt. Soc. Am. B. 2001, 18 (6) pp. 750–761. Available at:http://ts.nist.gov/ts/htdocs/230/233/calibrations/optical-rad/pubs/josa18-6.pdf

[6] Yariv, A., *Optical Electronics. Saunders, Fourth Edition*, 1991