INSO
6919-1-41
1st.Edition
2016

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

استاندارد ملی ایران
۶۹۱۹-۱-۴۱
چاپ اول
۱۳۹۵

دارای محتوای رنگی

تارهای نوری –
قسمت ۱-۴۱:
روش‌های اندازه‌گیری و رویه‌های آزمون – پهنای باند

Optical fibres -
Part 1-41: Measurement methods and test procedures - Bandwidth

ICS:33.180.10

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.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.org

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 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.org.ir

Website: http://www.isiri.org

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی 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 وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی 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 وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی 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.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

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

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی ، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید.

سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان قسمتیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایش ها و مراکز واسنجی (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر کارکرد آن ها نظارت می کند.

ترویج دستگاه بین المللی یکاها، واسنجی (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 of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«تارهای نوری – قسمت ۱-۴۱: روش‌های اندازه‌گیری و رویه‌های آزمون - پهنای باند»

رئیس:	**سمت و/ یا محل اشتغال**
صادقیان، حسین (کارشناسی الکترونیک)	مدیر کل استاندارد و تأیید نمونه سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی
دبیر:	
یغمایی مقدم، محمدحسین (دکتری مخابرات)	عضو هیات علمی دانشگاه فردوسی مشهد
اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
احکامی، رضا (کارشناسی ارشد کامپیوتر)	رئیس اداره نگهداری و بهره برداری شرکت ارتباطات زیرساخت خراسان رضوی
توسلی، مهسا (کارشناسی کامپیوتر)	کارشناس فناوری اطلاعات مخابرات خراسان رضوی
خسروی رشخواری، حسین (کارشناسی ارشد کامپیوتر)	مدیر فنی آزمایشگاه تایید نمونه تجهیزات IP-PBX[1] دانشگاه فردوسی مشهد
عروجی، سید مهدی (کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات)	سرپرست گروه تدوین استاندارد سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی
فیض، نوشین (کارشناسی ارشد مهندسی برق _ مخابرات)	پژوهشگر دانشگاه فردوسی مشهد
قرائی شهری، نرگس (کارشناسی ارشد مدیریت فناوری اطلاعات)	کارشناس آزمایشگاه تایید نمونه تجهیزات IP-PBX دانشگاه فردوسی مشهد
محسن زاده، علی اکبر (کارشناسی ارشد مخابرات)	کارشناس صنعت مخابرات
ملک فر، محمدرضا (کارشناسی ارشد مهندسی برق _مخابرات)	پژوهشگر دانشگاه فردوسی مشهد

1-Internet Protocol Private Branch eXchange

نقیب‌زاده، محمود
(دکتری کامپیوتر)
عضو هیأت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران ج
کمیسیون فنی تدوین استاندارد د
پیش‌گفتار ی
مقدمه ک
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۲
۳ اصطلاحات و تعاریف ۲
۴ دستگاه ۴
۴-۱ منبع تابش ۴
۴-۱-۱ روش الف- اندازه‌گیری حوزه زمان (اعوجاج ضربه) ۴
۴-۱-۲ روش ب- اندازه‌گیری حوزه بسامد ۴
۴-۱-۳ روش پ- پهنای باند حالتی آغاز اشباع شده، محاسبه شده از تاخیر حالت تفاضلی (OMBc) ۴
۴-۱-۴ برای روش‌های الف و ب ۴
۴-۲ سامانه آغاز ۵
۴-۲-۱ آغاز اشباع‌شده (OFL) ۵
۴-۲-۱-۱ شرایط OFL برای تار A1 ۵
۴-۲-۱-۲ شرایط OFL برای تارهای A3 و A4 ۶
۴-۲-۲ آغاز حالت محدود شده (RML) ۶
۴-۲-۲-۱ شرایط RML برای تار A1b ۶
۴-۲-۲-۲ معیار RML برای تار A3 ۷
۴-۲-۲-۳ معیار RML برای تار A4 ۷
۴-۲-۳ آغاز DMD ۸
۴-۳ سامانه آشکارسازی ۸
۴-۴ سامانه ثبت ۸
۴-۵ تجهیزات محاسباتی ۹
۴-۶ عملکرد کلی سامانه ۹
۵ نمونه‌برداری و نمونه‌ها ۱۰
۵-۱ نمونه آزمون ۱۰
۵-۲ نمونه مرجع ۱۰

ادامه فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۵-۳ آماده‌سازی سطح انتهایی	۱۰
۵-۴ بسته‌بندی نمونه آزمون	۱۰
۵-۵ تثبیت موقعیت نمونه آزمون	۱۱
۶ رویه	۱۱
۶-۱ روش الف– اندازه‌گیری حوزه زمان (اعوجاج ضربه)	۱۱
۶-۱-۱ اندازه‌گیری ضربه خروجی	۱۱
۶-۱-۲ اندازه‌گیری ضربه ورودی روش الف-۱: نمونه مرجع از نمونه آزمون	۱۱
۶-۱-۳ اندازه‌گیری ضربه ورودی روش الف-۲: نمونه مرجع دوره‌ای	۱۲
۶-۲ روش ب– اندازه‌گیری حوزه بسامد	۱۲
۶-۲-۱ پاسخ بسامدی خروجی	۱۲
۶-۲-۲ روش ب-۱ : طول مرجع از نمونه آزمون	۱۲
۶-۲-۳ روش ب-۲ : طول مرجع از تار مشابه	۱۳
۶-۳ روش پ– پهنای باند حالتی آغاز اشباع شده، محاسبه شده از تاخیر حالت تفاضلی (OMBC)	۱۳
۷ محاسبات یا تفسیر نتایج	۱۴
۷-۱ بسامد 3dB-، f_{3dB}	۱۴
۷-۲ محاسبات برای روش‌های گزارش‌دهی اختیاری	۱۵
۸ به‌هنجار کردن طول	۱۵
۹ نتایج	۱۵
۹-۱ اطلاعاتی که باید در هر اندازه‌گیری مهیا شود	۱۵
۹-۲ اطلاعات موجود برحسب درخواست	۱۶
۱۰ اطلاعات استاندارد مشخصات	۱۶
پیوست الف (الزامی) ضریب پراکنش بین حالتی و محدودیت پراکنش بین حالتی به‌هنجار شده	۱۷
الف-۱ ضریب پراکنش بین حالتی، IDF	۱۷
الف-۲ محدودیت پراکنش بین حالتی به‌هنجار شده، NIDL	۱۸
الف-۳ به دست آوردن IDF	۱۸
پیوست ب (الزامی) تابع انتقال تار، $H(f)$، طیف توان، $\|H(f)\|$، و f_{3dB}	۲۰
ب-۱ تابع انتقال تار	۲۰
ب-۱-۲ روش ب- اندازه‌گیری حوز بسامد	۲۰
ب-۲ طیف توان	۲۱

ادامه فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
ب-۲-۱ روش الف– اندازه‌گیری حوزه زمان (اعوجاج ضربه)	۲۱
ب-۲-۲ روش ب– اندازه‌گیری حوزه بسامد	۲۱
ب-۲-۳ بسامد 3dB–	۲۱
پیوست پ (الزامی) محاسبات برای دیگر روش‌های گزارش‌دهی	۲۲
پ-۱ پاسخ ضربه تار، $\mathbf{h(t)}$	۲۲
پ-۲ پاسخ ضربه RMS، روش دقیق	۲۲
پیوست ت (الزامی) الزامات درهم‌ساز حالتی برای شرایط آغاز اشباع شده در تارهای چند حالتی	۲۴
ت-۱ مقدمه	۲۴
ت-۲ دستگاه	۲۴
ت-۲-۱ منبع نوری	۲۴
ت-۲-۲ درهم‌ساز حالت	۲۴
ت-۲-۲-۱ کلیات	۲۴
ت-۲-۲-۲ پله‌ای- مدرج-پله‌ای	۲۵
ت-۲-۲-۳ پله‌ای همراه با خمش	۲۵
ت-۲-۲-۴ دستگاه آزمون برای احراز صلاحیت درهم‌ساز حالت	۲۵
ت-۲-۲-۵ افزاره/ ادوات نوری ریزموقعیت‌یابی	۲۵
ت-۲-۳ سیم لخت کن حالت روکشدار	۲۶
ت-۳ نمونه‌برداری و نمونه‌ها	۲۶
ت-۴ رویه	۲۶
ت-۴-۱ احراز صلاحیت درهم‌ساز حالت	۲۶
ت-۴-۱-۱ کلیات	۲۶
ت-۴-۱-۳ زاویه انتشار آغاز به تار آزمون	۲۷
ت-۴-۱-۴ الزامات افزونه آغاز با استفاده از اندازه‌گیری‌های محدود شده	۲۷
ت-۴-۱-۴-۱ نظر کلی	۲۷
ت-۴-۱-۴-۲ اندازه‌گیری‌های میدان نزدیک با میدان دور محدود شده	۲۷
ت-۴-۱-۴-۳ اندازه‌گیری‌های میدان دور با میدان نزدیک محدود شده	۲۸
ت-۴-۲ هم‌ترازی تار آزمون در خروجی درهم‌ساز حالت	۲۸
ت-۴-۲-۱ کلیات	۲۸
ت-۴-۲-۲ روش الف- ادوات نوری تصویرگری	۲۸

ادامه فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
ت-۴-۲-۳ مفصل با قابلیت جداسازی	۲۸
ت-۴-۲-۴ روش پ- تزویج به انتها	۲۸
ت-۴-۳ آزمون اندازه‌گیری	۲۸
ت-۵ محاسبات یا تفسیر نتایج	۲۹
ت-۶ نتایج	۲۹
ت-۶-۱ اطلاعاتی که باید در هر اندازه‌گیری فراهم شود	۲۹
ت-۶-۲ اطلاعات موجود برحسب درخواست	۲۹
پیوست ث (آگاهی‌دهنده) کتاب‌شناسی	۳۰

پیش‌گفتار

استاندارد «تارهای نوری – قسمت ۱-۴۱: روش‌های اندازه‌گیری و رویه‌های آزمون – پهنای باند (نسخه ۰٫۳)» که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی ایران و دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و تدوین شده است و در دویست و بیست و یکمین اجلاس کمیته ملی استاندارد مخابرات مورخ ۱۳۹۵/۰۵/۲۴ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود . برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع ، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد .

منبع و ماخذی که برای تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته بشرح زیر است:

IEC 60793-1-41 edition 3.0: 2010, Optical fibers - Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth;

مقدمه

با توجه به اینکه مقررات و ضوابط استفاده از باند فرکانسی و سرویس‌های رادیویی در هر کشور بر اساس جدول ملی فرکانسی تعیین می‌شود که توسط رگولاتوری همان کشور تهیه شده است در مورد مقررات طیف رادیویی و باندهای فرکانسی این مجموعه استانداردها، نیز باید به مقررات و ضوابط استفاده از طیف رادیویی، مصوب سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی به نشانی اینترنتی www.cra.ir به عنوان مرجع مرتبط مراجعه کرد که بر تمامی مقررات و ضوابط طیف رادیویی اشاره شده در این استاندارد اولویت دارد.

تارهای نوری- بخش ۱-۴۱: روش‌های اندازه‌گیری و رویه‌های آزمون-پهنای باند

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین سه روش برای تشخیص و اندازه‌گیری پهنای باند[۱] حالتی (شرطی)[۲] تارهای نوری[۳] چند حالته[۴] است (به مجموعه IEC 60793-2-10، IEC 60793-30 و مجموعه IEC 60793-40 رجوع شود). پاسخ بسامدی باند پایه[۵] در حوزه بسامد به طور مستقیم با تعیین پاسخ تار به یک منبع نوری مدوله‌سازی شده[۶] سینوسی اندازه‌گیری می‌شود. همچنین می‌توان پاسخ باند پایه را با مشاهده پهن‌شدگی ضربه‌های[۷] باریک نوری اندازه‌گیری کرد. پاسخ محاسبه شده با استفاده از داده‌های تاخیر حالت تفاضلی (DMD)[۸] تعیین می‌شود. سه روش به صورت زیر هستند:

- روش الف- اندازه‌گیری حوزه‌ی زمان (اعوجاج ضربه[۹])
- روش ب- اندازه‌گیری حوزه بسامد
- روش پ- پهنای باند حالتی آغاز (وارد کردن تار نوری)[۱۰] اشباع شده محاسبه شده از تاخیر حالت تفاضلی (OMBC)

می‌توان روش‌های الف و ب را با استفاده از یکی از دو نوع آغاز انجام داد: شرایط آغاز اشباع‌شده (OFL)[۱۱] یا شرایط آغاز حالت محدود شده (RML)[۱۲]. روش پ تنها برای تار چند حالتی A1a.2 (و A1a.3 در آماده‌سازی) تعریف می‌شود و از مجموع وزن‌دار پاسخ‌های آغاز DMD با وزن‌های متناظر با شرط آغاز اشباع شده استفاده می‌کند. بهتر است روش آزمون و شرط آغاز مرتبط را مطابق با نوع تار انتخاب کرد.

یادآوری ۱- این روش‌های آزمون در تأسیسات تحقیقاتی و تولیدی به طور عام استفاده می‌شوند و نمی‌توان با آزمون‌های میدانی به آنها دست پیدا کرد.

1 - Bandwidth
2 - Modal
3 - Optical fibre
4 - Mutimode
5 - Baseband
6 - Modulated
7 - Pulse
8 - Differential Mode Delay
9 - Pulse distortion
10 - Launch
11 - Overfilled Launch condition
12 - Restricted Mode Launch condition

یادآوری ۲- برای سال‌های متمادی از OFL برای مقدار پهنای باند حالتی در کاربردهای مبتنی بر LED استفاده شده است. با این وجود، هیچ شرط آغاز منفردی (تکی) معرف منابع لیزری (به عنوان مثال VCSEL) نیست که در انتقال نرخ گیگابایت یا بالاتر استفاده می‌شوند. این واقعیت باعث توسعه استاندارد IEC 60793-1-49 برای تعیین پهنای باند حالتی موثر تارهای ۵۰ میکرون بهینه شده لیزری شده است. برای اطلاعات بیشتر به مراجع IEC 60793-2-10:2004 و IEC 61280-4-1:2003 رجوع شود.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه های بعدی آن ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 IEC 60793-1-20, Optical Fibres – Part 1-20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry

2-2 IEC 60793-1-42, Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion

2-3 IEC 60793-1-43, Optical fibres – Part 1-43: Measurement methods and test procedures – Numerical aperture

2-4 IEC 60793-1-49:2006, Optical fibres – Part 1-49: Measurement methods and test procedures –Differential mode delay

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر استفاده می‌شوند.

۱-۳

پهنای باند (3dB-)

این مقدار عددی برابر با کمترین بسامد مدوله‌سازی می‌باشد که در آن اندازه تابع انتقال باند پایه یک تار نوری به کسر مشخصی (عموماً نصف) مقدار بسامد صفر کاهش می‌یابد. در این استاندارد، پهنای باند به صورت $f_{3\,dB}$ نشان داده می‌شود.

یادآوری- مشخص است که برای اجتناب از گزارش‌دهی مقادیر بسیار بالای مرتبط با «کفه‌ها (شرایط پایا)»[1]، محاسبات مختلفی وجود دارند که بعضاً به عنوان روش‌های تخفیفی[2] شناخته می‌شوند. برای مثال بسامدی 1.5dB ضرب در $\sqrt{2}$، روش استفاده شده در مرجع IEC 60793-1-49 است. اگر از چنین محاسباتی استفاده شود بهتر است به صورت واضح به آن اشاره شود.

۲-۳

تابع انتقال[3]

تابع گسسته[4] از اعداد مختلط، وابسته به بسامد، نمایانگر پاسخ حوزه بسامد تار تحت آزمون.

یادآوری- روش الف، پاسخ بسامدی را با پردازش داده حوزه زمان از طریق تبدیل فوریه[5] تعیین می‌کند. چنانچه یک ابزار استفاده شود که فاز و دامنه را اندازه بگیرد، روش ب تنها می‌تواند تابع انتقال را اندازه بگیرد. روش پ مشابه روش الف است زیرا از تبدیل فوریه به شیوه مشابهی استفاده می‌کند. در این استاندارد، تابع انتقال به صورت $H(f)$ نشان داده می‌شود.

۳-۳

طیف توان[6]

تابع گسسته از اعداد حقیقی، وابسته به بسامد، نمایانگر دامنه پاسخ حوزه بسامد تار تحت آزمون.

یادآوری- روش‌های الف و پ طیف توان تابع انتقال را تعیین می‌کنند. روش ب تابع انتقال را با در نظر گرفتن نسبت دامنه اندازه گرفته شده از طریق تار تحت آزمون و مرجع تعیین می‌کند. در این استاندارد تابع انتقال به‌صورت $|H(f)|$ نشان داده می‌شود.

۴-۳

پاسخ ضربه[7]

تابع گسسته از اعداد حقیقی، وابسته به زمان، نمایانگر پاسخ حوزه زمان تار تحت آزمون به یک تحریک ضربه کامل. پاسخ ضربه در تمامی روش‌ها از طریق تبدیل فوریه معکوس تابع انتقال به دست می‌آید. در این استاندارد، پاسخ ضربه به‌صورت $h(t)$ نشان داده می‌شود.

---

1 - Plateaus
2 - Markdowns
3 - Transfer function
4 - Discrete function
5 - Fourier transform
6 - Power spectrum
7 - Impulse response

۴ دستگاه

۴-۱ منبع تابش

۴-۱-۱ روش الف– اندازه‌گیری حوزه زمان (اعوجاج ضربه)

از یک منبع تابشی نظیر دیود لیزری تزریقی استفاده کنید که ضربه‌هایی با دوره کوتاه و عرض طیفی باریک به منظور اندازه‌گیری تولید می‌کند. روش اندازه‌گیری اعوجاج ضربه به توانایی سودهی[۱] انرژی الکتریکی یا نوری منابع نوری نیاز دارد. نیاز است برخی منابع نوری برای تولید ضربه به صورت الکتریکی فعال شوند[۲]؛ در این مورد باید ابزاری فراهم شود تا ضربه‌های رهانا[۳] را تولید کند. برای این هدف، می‌توان یک مولد تابع الکتریکی یا معادل آن را بکار برد. خروجی آن بهتر است برای القای[۴] ضربه به منبع نوری و در فعال کردن سامانه ثبت استفاده شود. منابع دیگر نوری ممکن است خود رهانا باشند؛ در این موارد، باید ابزارهایی فراهم شود تا سامانه ثبت با ضربه‌هایی همزمان شوند که از منبع نوری می‌آیند. در برخی موارد می‌توان این کار را به صورت الکتریکی انجام داد؛ در برخی موارد دیگر بهتر است ابزارهای نوری-الکتریکی[۵] به کار بروند.

۴-۱-۲ روش ب- اندازه‌گیری حوزه بسامد

از یک منبع تابشی نظیر دیود لیزری تزریقی موج پیوسته (CW)[۶] به منظور اندازه‌گیری استفاده کنید. روش اندازه‌گیری حوزه بسامدی نیازمند قابلیت مدوله‌سازی انرژی منابع نوری به صورت الکتریکی و نوری است. خروجی مدوله‌ساز مولد ره‌گیری[۷] و یا تحلیل‌گر شبکه[۸] را از طریق هر نوع رانه رانش‌گر[۹] مورد نیاز به مدوله‌ساز وصل کنید.

۴-۱-۳ روش پ- پهنای باند حالتی آغاز اشباع شده، محاسبه شده از تاخیر حالت تفاضلی (OMBc)

از یک منبع تابشی به صورت توصیف شده در مرجع IEC 60793-1-49 استفاده کنید.

۴-۱-۴ روش‌های الف و ب

الف- از یک منبع تابشی با طول موج مرکزی معین در محدوده ۱۰± نانومتری طول موج نامی مشخص شده استفاده کنید. برای دیودهای لیزی تزریقی، میزان گسیل لیزر تزویج شده[۱۰] به تار بهتر است دست کم 15dB (نوری) بیش از انتشار خود به خودی باشد.

---

1 - Switch
2 - Triggered
3 - Triggering pulse
4 - Induce
5 - Optoelectronic
6 - Continuous wave
7 - Tracking
8 - Network analyzer
9 - Driving amplifier
10 - Coupled

ب- برای اطمینان از اینکه پهنای باند اندازه‌گیری شده دست کم ٪۹۰ پهنای باند بین حالتی[1] است، از یک منبع با پهنای خط باریک استفاده کنید. این امر با محاسبه حد پراکنش[2] بین حالتی به هنجار شده[3] (NIDL)[4] انجام می‌شود (به پیوست الف رجوع شود). برای تار A4، پهنای خط هر دیود لیزری به اندازه کافی باریک هست که از نقش آن در اندازه‌گیری پهنای باند چشم پوشی شود.

ج- برای تارهای A1 و A3، برای اندازه‌گیری هر طول موج از عرض طیفی منبع نوری برای آن طول موج، NIDL را به صورت زیر محاسبه کنید (به پیوست الف رجوع شود):

$$NIDL = \frac{IDF}{\Delta\lambda}, \text{GHz} \times \text{km} \quad \text{برحسب}$$

که در آن:

$\Delta\lambda$ عرض طیفی پهنای کل نصف بیشینه (FWHM)[5] برحسب نانومتر است،

IDF ضریب پراکنش بین حالتی (GHz×km×nm) از پیوست الف مطابق طول موج منبع است.

NIDL برای طول موج‌های از ۱۲۰۰ نانومتر تا ۱۴۰۰ نانومتر تعریف نشده است. عرض طیف منبع باید برای این طول موج‌ها کوچک‌تر یا مساوی ۱۰ نانومتر باشد (FWHM).

یادآوری- پذیرش مقدار NDIL وابسته به الزامات آزمون کاربر خاص است. برای مثال، برای بررسی اینکه تارها دارای کمینه پهنای باند بزرگتر از مقادیری زیر ۵۰۰ مگاهرتز×کیلومتر هستند، NIDL برابر با ۰٫۵ مگاهرتز×کیلومتر رضایت‌بخش خواهد بود، اما برای بررسی اینکه تارها دارای کمینه پهنای باند بزرگتر از مقادیر زیر ۵۰۰ مگاهرتز×کیلومتر هستند رضایت‌بخش نخواهد بود. اگر NIDL بیش از حد کم است، یک منبع با عرض طیفی کوچک‌تر مورد نیاز می‌باشد.

د) منبع تابشی باید در طول مدت یک ضربه واحد و در طول زمانی که اندازه‌گیری انجام می‌شود از نظر طیفی پایدار باشد.

۴-۲ سامانه آغاز

۴-۲-۱ آغاز اشباع‌شده (OFL)

۴-۲-۱-۱ شرایط OFL برای تار A1

از یک درهم‌ساز حالت بین منبع نور و نمونه آزمون برای ایجاد آغاز واپایش شده بدون در نظر گرفتن خواص تابشی منبع نور استفاده کنید. خروجی درهم‌ساز حالت باید به انتهای ورودی نمونه آزمون مطابق با پیوست ت تزویج شود. موقعیت تار باید در تمام طول مدت اندازه‌گیری ثابت باشد. استفاده از یک سامانه مشاهده برای کمک به هم‌ترازی تارای که در آن تصویربرداری نوری به کار می‌رود مجاز است.

1 - Intermodal
2 - Dispersion
3 - Normalized
4 - Normalized Intermodal Dispersion Limit
5 - Full Width Half Maximum

دستورالعمل OFL در پیوست ت، براساس وردایی[1] مجاز شدت نور در ورودی تار تحت آزمون، می‌تواند منجر به وردایی بزرگی (<۲۵٪) در نتایج اندازه‌گیری‌ها برای تارهای با پهنای باند بیشتر از تارهای A1a (<1500MHz×km) شود. یکی دلایل این تفاوت‌ها، تفاوت‌های ظریف در آغازهای تجهیزات منطبق است. روش پ به عنوان یک ابزار برای به دست آوردن بهبود (پیشرفت) معرفی‌شده است.

ابزاری را برای برداشتن روکش نوری[2] از نمونه آزمون فراهم کنید. اغلب برداشتن روکش تار برای انجام این عمل کافی است. در غیر این صورت، لازم است که از سیم لخت کنِ حالت روکش‌دار نزدیک دو انتهای نمونه استفاده شود. نگه داشتن تارها بر روی سیم لخت کن حالت روکش‌دار با وزنه‌های کوچک مجاز است، اما باید مراقبت شود که در این مکان‌ها از ریز خمش[3] اجتناب شود.

یادآوری- اندازه‌گیری‌های پهنای باند به دست آمده از OFL، استفاده از تارهای چند حالتی رده[4] A1 به خصوص در کاربردهای LED در طول‌موج‌های ۸۵۰ نانومتر و ۱۳۰۰ نانومتر را پشتیبانی می‌کند. همچنین ممکن است برخی از کاربردهای منابع لیزری توسط این آغاز پشتیبانی شوند، اما منجر به کاهش طول‌های پیوند[5] (در ۸۵۰ نانومتر) شوند یا محدودیت‌هایی در منابع لیزری (در ۱۳۰۰ نانومتر) ایجاد کنند.

۴-۲-۱-۲ شرایط OFL برای تارهای A3 و A4

OFL با آغاز نور هندسی به دست می‌آید که در آن مخروط آغاز از بیشینه روزنه عددی (NA)[6] نظری تار عبور می‌کند و در آن قطر نقطه آغاز شده در حدود قطر هسته تار است. منبع نوری باید قابلیت تحریک حالت‌های مرتبه بالا و مرتبه پایین تار را به صورت مساوی داشته باشد.

یادآوری- یک درهم‌ساز حالت A کم و یا بیش تمامی حالت‌ها را تحریک می‌کند. تحریک حالت به هم‌ترازی درهم‌ساز حالت/ منبع و برهم کنش با هر وسیله نور واسطی از قبیل اتصال‌دهنده‌ها یا سامانه‌های تصویربرداری نوری بسیار حساس است. یک منبع نوری با NA و قطر هسته بزرگ، تنها حالت‌های گذرنده از محور تار[7] یا حالت‌های $LP_{0,m}$ را تحریک می‌کند.

۴-۲-۲ آغاز حالت محدود شده (RML)

۴-۲-۲-۱ شرایط RML برای تار A1b

RML برای پهنای باند توسط پالایش[8] آغاز اشباع شده (که در ضمیمه ت تعریف شده است) با یک تار RML ایجاد می‌شود. OFL در پیوست ت تعریف شده است و تنها کافی است که به اندازه‌ای بزرگ باشد که تار RML را در هر دو جهت فضایی[9] و زاویه‌ای[10] اشباع کند. تار RML دارای قطر هسته $23.5 \pm 0.1\mu m$ و دهانه عددی

1 - Variance
2 - Light cladding
3 - Microbending
4 - Category
5 - Link
6 - Numerical apperture
7 - Meridional modes
8 - Launch
9 - Spatial
10 - Angular

0.208 ± 0.01است. تار باید دارای رخ‌نمون نمایه مدرج[1] با مقدار تقریبی آلفا برابر ۲ و پهنای باند OFL بزرگ‌تر از 700 MHz×km در 850 nm و 1300 nm باشد. برای سهولت، بهتر است قطر روکش $125\ \mu m$ باشد. برای حذف حالت‌های نشتی[2]، طول تار RML باید دست کم ۱/۵ متر باشد و برای اجتناب از اثرات تلفات حالت گذار[3]، بهتر است کمتر از ۵ متر باشد. آغاز خروجی تار RML به تار تحت آزمون تزویج می‌شود.

ابزاری را برای برداشتن روکش نوری از نمونه آزمون فراهم کنید. اغلب روکش تار برای انجام این عمل کافی است. در غیر این صورت، لازم است که از سیم لخت کن حالت روکش‌دار نزدیک دو انتهای نمونه آزمون استفاده شود. نگه داشتن تارها در حالت بدون روکش مجاز است، اما بهتر است مراقبت شود که در این مکان‌ها از ریز خمش اجتناب شود.

یادآوری ۱- به‌منظور دستیابی به بالاترین دقت، رواداری‌های[4] سخت‌گیرانه‌ای در مورد هندسه و رخ‌نمون تار RML مورد نیاز است. به منظور رسیدن به بالاترین تکرارپذیری اندازه‌گیری، رواداری‌های همترازی سخت‌گیرانه‌ای در اتصال بین تار RML آغاز و تار تحت آزمون مورد نیاز است تا از جای‌گیری تار RML در مرکز تار تحت آزمون اطمینان حاصل شود.

یادآوری ۲- اندازه‌گیری‌های پهنای باند بدست آمده از یک RLM برای پشتیبانی از کاربرد آغاز لیزر اترنت یک گیگابیتی استفاده می‌شوند. آغاز کنونی به طور خاص برای منابع ۸۵۰ نانومتری حمل و نقل شده روی تارهای نوع A1b اثبات شده است.

۴-۲-۲-۲ معیار RML برای تار A3

شرایط RML برای تارهای A3 توسط آغاز نور هندسی ایجاد می‌شود که متناظر با آغاز $NA = 0.3$است.

اندازه نقطه بهتر است بزرگ‌تر یا مساوی اندازه هسته باشد.

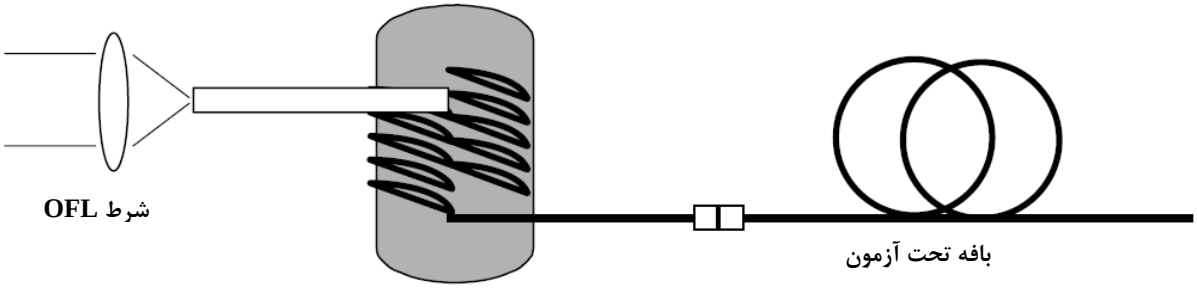
۴-۲-۲-۳ معیار RML برای تار A4

RML برای تار A4 بهتر است متناظر با NA=0.3 باشد. می‌توان آن را با پالایش آغاز اشباع شده با پالاینده[5] حالت پیچیده شده دور قالب[6] که در شکل ۱ نشان داده شده ایجاد کرد. پالاینده حالت بهتر است با همان رده تار تحت آزمون ساخته شود. به منظور اجتناب از تلفات زائد، توصیه می‌شود طول تار ۱ متر باشد. قطر قالب بهتر است ۲۰ برابر بزرگ‌تر از روکش تار باشد و تعداد سیم‌پیچ‌ها[7] می‌تواند ۵ باشد.

یادآوری- هیچ تنش[8] بیش از حدی در تارهای سیم‌پیچیِ روی قالب اعمال نکنید. ثابت کردن تار پیچیده شده روی قالب با یک چسب مجاز است. بهتر است قسمت‌های پیچیده نشده تار به صورت مستقیم نصب شوند.

---

1 - Graded index profile
2 - Leaky mode
3 - Transient loss
4 - Tolerance
5 - Filter
6 - Mandrel wrapped mode
7 - Coil
8 - Stress



شکل ۱- پالایه حالت پیچیده شده دور قالب

۴-۲-۳ آغاز DMD

آغاز DMD بهتر است مطابق با الزامات آغاز مرجع IEC 60793-1-49 باشد.

۴-۳ سامانه آشکارسازی

دستگاه آشکارسازی نوری خروجی بهتر است قابلیت تزویج تمام حالت‌های هدایت شده از نمونه آزمون به ناحیه فعال آشکارساز را داشته باشد، به طوری‌که حساسیت آشکارسازی وابسته به حالت نباشد.

بهتر است یک افزاره موجود باشد تا موقعیت انتهای خروجی نمونه را با پایداری مناسب و با قابلیت تکرار چندباره به نحوی قرار دهد که شرایط زیربند ۴-۶ که در ادامه آمده برآورده شود.

بهتر است یک آشکارساز نوری به کار گرفته شود که برای استفاده در طول موج آزمون مناسب باشد.، پاسخ دامنه خطی داشته باشد، در محدوده ۱۰ درصد به صورت فضایی یکنواخت باشد و برای آشکار کردن تمام توان گسیل شده به قدر کافی بزرگ باشد. استفاده از تضعیف کننده[1] نوری برای واپایش شدت نور در آشکارساز مجاز است که بهتر است مستقل از حالت نیز باشد.

ادوات الکترونیکی آشکارساز و همچنین هر پیش رانه نشانک[2] بهتر است در گستره نشانک‌های مشاهده شده پاسخ دامنه خطی داشته باشند (غیرخطی بودن کمتر از ٪۵).

سامانه آشکارسازی برای روش پ بهتر است مطابق با الزامات IEC 60793-1-49 باشد.

۴-۴ سامانه ثبت

برای اندازه‌گیری (روش الف) حوزه زمان (اعوجاج ضربه)، از یک نوسان‌نما[3] استفاده کنید که به طور مناسب به یک افزاره ثبت مثل یک پردازنده رقمی[4] وصل شده است، تا دامنه‌ی ضربه‌های دریافت شده را به عنوان تابعی از زمان ذخیره کنید. برای اندازه‌گیری‌های زمانی، داده‌های گرفته شده از صفحه نمایش نوسان‌نما نسبت به داده‌هایی که از نشانک ثبت شده به دست آمده‌اند بهتر است در جایگاه پایین‌تری در نظر گرفته شوند.

1 - Attenuator
2 - Signal
3 - Oscilloscope
4 - Digital

برای اندازه‌گیری حوزه بسامد (روش ب)، از یک ترکیب تحلیل‌گر طیف الکتریکی - مولد ره‌گیری[1]، تحلیل‌گر شبکه نرده‌ای[2]، تحلیل‌گر شبکه برداری[3] یا یک ابزار معادل برای آشکارسازی، نمایش و ثبت دامنه نشانک مدوله‌سازی شده RF به دست آمده از آشکارساز نوری استفاده کنید. این امر بهتر است به نحوی انجام شود تا اعوجاج همساز[4] به کمتر از ٪۵ برسد.

سامانه ثبت برای روش پ بهتر است مطابق با الزامات IEC 60793-1-49 باشد.

۴-۵ تجهیزات محاسباتی

برای روش (روش الف) حوزه‌ی زمان (اعوجاج ضربه) و پهنای باند آغاز اشباع شده و محاسبه شده از تاخیر حالت تفاضلی (روش پ) یا در صورت نیاز به پاسخ ضربه از روش ب، تجهیزات محاسباتی دارای توانایی انجام تبدیل فوریه بر روی شکل موج‌های ضربه نوری ثبت شده توسط سامانه ثبت شکل موج بهتر است استفاده شوند. ممکن است که تجهیزات هر کدام از تبدیل‌های فوریه سریع[5] یا سایر الگوریتم‌های مناسب را پیاده‌سازی کنند، و برای دیگر کارکردهای مشروط کردن نشانک، متوسط گیری شکل موج و ذخیره‌سازی مفید باشند.

۴-۶ عملکرد کلی سامانه

یادآوری- بسته به روش مورد استفاده، این زیربند ابزاری را برای صحت‌سنجی پایداری سامانه برای مدت زمان اندازه‌گیری یا یک دوره واسنجی[6] سامانه فراهم می‌کند (الف، ب و پ، به ترتیب به زیربند ۶-۱، ۶-۲ و مرجع IEC 60793-1-49 رجوع شود).

پایداری سامانه اندازه‌گیری با مقایسه تبدیل فوریه ضربه ورودی سامانه (روش ب) یا پاسخ‌های بسامدی ورودی (روش الف) در طول یک بازه زمانی آزمایش می‌شود. همان‌طور که در پیوست ب نشان داده شده است یک اندازه‌گیری پهنای باند، تبدیل ضربه خروجی تار را توسط تبدیل واسنجی سامانه به‌هنجار می‌کند. اگر یک نمونه مرجع جایگزین نمونه تار شود، پاسخ حاصل‌شده یا $H(f)$ نشانگر مقایسه‌ای از سامانه با خودش در طول یک بازه زمانی است. از این پایداری دامنه سامانه به‌هنجار برای تعیین محدودیت بسامدی پایداری سامانه (SSFL)[7] استفاده می‌شود.

SSFL کمترین بسامدی است که در آن پایداری دامنه سامانه ٪۵ از واحد انحراف می‌یابد. اگر روش الف-۱ یا ب-۱ بکار برده شود، بهتر است آن را براساس یک اندازه‌گیری مجدد در یک بازه زمانی مشابه با بازه مورد استفاده برای اندازه‌گیری یک تار واقعی تعیین کرد. اگر روش الف-۲ و یا ب-۲ بکار برده شود، بهتر است آن را در طول قابل ملاحظه‌ای از همان بازه زمانی که برای واسنجی سامانه دوره‌ای استفاده شده تعیین کرد. در این مورد اخیر، فاصله زمانی ممکن است SSFL را تحت تأثیر قرار دهد.

---

1 - Tracking generator-electrical spectrum analyzer combination
2 - Scalar network analyzer
3 - Vector network analyzer
4 - Harmonic distortion
5 - Fast Fourier transform
6 - Calibration
7 - System StabilityFrequency Limit

برای تعیین SSFL، نشانک نوری رسیده به آشکارساز را به میزان برابر یا بزرگ‌تر از تضعیف نمونه آزمون به علاوه 3dB تضعیف کنید. اگر یک تضعیف کننده از قبیل آنچه در مورد به‌هنجار کردن نشانک یا مقیاس‌گذاری نشانک استفاده می‌شود همیشه موجود نباشد، ممکن است این امر نیازمند معرفی یک تضعیف کننده در مسیر نوری باشد. همچنین بهتر است در طی تعیین SSFL، انحراف استاندارد در موقعیت و دامنه ضربه یا پاسخ بسامدی در افزاره نمایش وجود داشته باشد.

۵ نمونه‌برداری و نمونه‌ها

۵-۱ نمونه آزمون

نمونه آزمون باید طول معلومی از تار نوری یا بافه (کابل)[1] تار نوری باشد.

۵-۲ نمونه مرجع

بهتر است نمونه مرجع طول کوتاهی از تار از همان نوع نمونه آزمون، و یا برشی از نمونه آزمون باشد. به جز تار A4، طول مرجع بهتر است کمتر از ٪۱ طول نمونه آزمون و یا کمتر از ۱۰ متر باشد، (هرکدام که کوتاه‌تر است).
برای تار A4، بهتر است طول مرجع ۱ تا ۲ متر باشد. در مورد RML، خروجی پالایه حالت مرجع است.

۵-۳ آماده‌سازی سطح انتهایی

سطح انتهایی صاف، تخت و عمود به محور تار را آماده‌سازی کنید.

۵-۴ بسته‌بندی نمونه آزمون

برای تارهای A1، نوع چیدمان (نوع ماسوره[2]، کشش پیچش[3]، و دیگر مشخصه‌های پیچشی) می‌تواند به مقدار قابل توجهی روی نتایج تأثیر بگذارد. معمول است که بیشتر اندازه‌گیری‌های واپایش کیفیت با تار مستقر شده روی ماسوره به صورتی انجام شود که برای حمل[4] مناسب باشد. با این وجود، قرارگیری مرجع به گونه‌ای است که تار بدون تنش و میزان ریز خمش در آن کمینه باشد. می‌توان از توابع نگاشت برای گزارش مقادیر مورد انتظار به دست آمده از اندازه‌گیری چیدمان مرجع استفاده کرد که بر پایه اندازه‌گیری‌های تار به صورت استقرار یافته بر روی ماسوره‌های مناسب حمل می‌باشد. بهتر است تابع نگاشت از اندازه‌گیرهای مجموعه‌ای از تارها توسعه یابد که با هر دو روش چیده شده‌اند، که نماینده گستره کامل مقادیر پهنای باند مورد نظر می‌باشند.
برای تار A4، نمونه آزمون بهتر است به سیم‌پیچ‌های با قطر دست کم ۳۰۰ میلی‌متر و عاری از هرگونه تنش پیچیده شود. بهتر است اطمینان حاصل شود که نمونه آزمون بدون هرگونه ریزخمش و خمش بزرگ بوده و توزیع انرژی در خروجی سامانه آغاز اساساً ثابت است.

---

1 - Cable
2 - Spool
3 - Wind tension
4 - Shipment

۵-۵ تثبیت موقعیت نمونه آزمون

موقعیت انتهای ورودی نمونه آزمون بهتر است به‌گونه‌ای باشد که هم‌تراز انتهای خروجی سامانه آغاز باشد تا شرایط آغاز مطابق با زیربند ۴-۲ باشد.

انتهای خروجی نمونه آزمون را به‌گونه‌ای قرار دهید که هم‌تراز آشکارساز نوری باشد.

۶ رویه

۶-۱ روش الف– اندازه‌گیری حوزه زمان (اعوجاج ضربه)

۶-۱-۱ اندازه‌گیری ضربه خروجی

الف) توان را به تار آزمون تزریق کنید و تضعیف کننده نوری یا ادوات الکترونیکی آشکارساز نوری یا هر دو را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که تمام یک ضربه نوری از تار، روی نوسان‌نما واسنجی‌شده نمایش داده شود، از جمله لبه‌های مقدم و انتهایی که دامنه‌ای بزرگ‌تر یا مساوی ۱٪ یا 20 dB- قله دامنه دارند.

ب) دامنه‌ی آشکارشده و نرخ جاروب[1] نوسان‌نما واسنجی شده را ثبت کنید.

پ) ضربه خروجی تار را ثبت کنید و تبدیل فوریه‌ی این ضربه را مشابه پیوست ب محاسبه کنید.

ت) با اندازه‌گیری نشانک خروجی و نمونه مرجع، ضربه ورودی به نمونه آزمون را تعیین کنید. می‌توان این کار را با استفاده از طول مرجع بریده شده از نمونه مرجع یا از تار مشابه انجام داد.

۶-۱-۲ اندازه‌گیری ضربه ورودی روش الف-۱: نمونه مرجع از نمونه آزمون

الف) تار آزمون را از نزدیک انتهای ورودی مطابق با زیربند ۵-۲ برش دهید. انتهای خروجی جدیدی را مطابق زیربند ۵-۳ ایجاد کنید، و انتها را با توجه به آشکارساز نوری تراز کنید (همانگونه که در زیربند ۶-۱-۱-الف مشخص شده است). انتهای ورودی را برهم نزنید.

ب) لخت کننده حالت روکش‌دار را اگر استفاده شود اعمال کنید (به زیربند ۵-۲ رجوع شود).

پ) اگر یک تضعیف کننده نوری استفاده شود، فقط دامنه همان ضربه نمایش داده شده را همانند آنچه در زیربند ۶-۱-۱-الف مشخص شده بخوانید.

ت) ضربه ورودی به سامانه را با استفاده از همان نرخ جاروب نوسان‌نما برای نمونه آزمون ثبت کنید، و تبدیل فوریه ضربه ورودی را بر طبق پیوست ب محاسبه کنید.

۶-۱-۳ اندازه‌گیری ضربه ورودی روش الف-۲: نمونه مرجع دوره‌ای[2]

الف) بهتر است رویه واسنجی سامانه زیر که از نمونه مرجع دوره‌ای استفاده می‌کند باید در طول میزان قابل توجهی از همان بازه زمانی که برای تعیین SSFL استفاده شده انجام شود (به زیربند ۴-۶ رجوع شود). در اغلب

1 - Sweep rate
2 - Periodic reference sample

مواردی که در آن آماده‌سازی مناسبی از درهم‌ساز حالت، دیود لیزری، و تجهیزات هم‌ترازی ایجاد شده است، استفاده از یک نمونه مرجعی که از نمونه آزمون گرفته نشده قابل قبول می‌باشد.

ب) انتهای ورودی و خروجی را بر طبق زیربند ۵-۳ روی نمونه مرجعی از همان طبقه[1] تار و همان ابعاد نوری نامی به عنوان نمونه آزمون آماده کنید.

پ) انتهای ورودی و خروجی را مطابق آنچه در زیربند ۵-۵ مشخص‌شده هم‌تراز کنید و اگر از یک تضعیف کننده نوری استفاده شود، آن را به نحوی تنظیم کنید تا دامنه ضربه نمایش داده شده صحیح به دست آید.

ت) ضربه ورودی سامانه را با استفاده از همان نرخ جاروب نوسان‌نما برای نمونه آزمون ثبت کنید، و تبدیل فوریه ضربه ورودی را بر طبق پیوست ب محاسبه کنید.

۶-۲ روش ب– اندازه‌گیری حوزه بسامد

۶-۲-۱ پاسخ بسامدی خروجی

الف) بسامدی مدوله‌سازی (f) منبع را برای رسیدن به یک سطح مرجع DC صفر مناسب از یک بسامد پایین تا بسامد بالا در بیش از پهنای باند 3dB جاروب کنید. توان نوری نسبی خارج شده از نمونه آزمون مربوطه را به عنوان تابعی از f ثبت کنید، این توان را با $P_{out}(f)$ نشان دهید. اگر یک تحلیل‌گر شبکه یا پاسخ ضربه مورد نظر است، بسامدی بالایی بهتر است بیش از 15dB- نقطه شود و فاز $\varphi_{out}(f)$ بهتر است ثبت شود.

یادآوری- یک تابع مرتبط با $P_{out}(f)$ از قبیل $\log P_{out}(f)$ می‌تواند ثبت شود تا درنهایت $|H(f)|$ در زیربند ۷-۱ حاصل شود.

ب) نشانک مدوله‌شده ورودی به نمونه آزمون را با اندازه‌گیری نشانک خروجی از طول مرجع تار تعیین کنید. این امر را می‌توان با استفاده از یک طول مرجع از نمونه آزمون (روش ب-۱، روشی که در صورت تعارض در نتایج آزمون استفاده از آن ترجیح دارد) ویا از یک تار مشابه (روش ب-۲) انجام داد.

۶-۲-۲ روش ب-۱ : طول مرجع از نمونه آزمون

الف) نمونه آزمون را از نزدیکی‌های ورودی برش دهید و سطح انتهایی مسطحی را در این انتهای خروجی جدید ایجاد کنید (به زیربند ۵-۳ رجوع شود). در صورت لزوم، حالت‌های روکش‌دار را از انتهای خروجی خارج کنید. شرایط آغاز را در این طول کوتاه برهم نزنید.

ب) بسامد مدوله‌سازی (f) منبع را از یک بسامد پایین برای رسیدن به یک سطح مرجع DC صفر مناسب، تا بسامد بالا در بیش از پهنای باند 3dB جاروب کنید. توان نوری نسبی خارج شده از نمونه آزمون مربوطه را به عنوان تابعی از f ثبت کنید، این توان را با $P_{in}(f)$ نشان دهید.

۶-۲-۳ روش ب-۲ : طول مرجع از تار مشابه

الف) اگر دستگاه در موقعیتی قرار دارد که یک تار را در همان مکانی در خروجی درهم‌ساز حالت قرار دهد که ورودی نمونه آزمون در آن بوده است، طول کوتاه دیگری از تار که خواص نامی همانند تار آزمون دارد را می‌توان

1 - Class

جایگزین تار مرجع کرد. از تار مرجع برای جایگزینی نمونه آزمون استفاده کنید. در صورت لزوم، سیم لخت کن حالت روکش‌دار را اعمال کنید، و انتهای خروجی را در مقابل آشکارساز هم‌تراز کنید.
ب) بسامدی مدوله‌سازی (f) منبع را برای رسیدن به یک سطح مرجع DC صفر مناسب از یک بسامد پایین تا بسامد بالا در بیش از پهنای باند 3dB جاروب کنید. توان نوری خارج شده از نمونه آزمون مربوطه را به عنوان تابعی از f ثبت کنید، این توان را با $P_{in}(f)$ نشان دهید.

یادآوری- یک تابع مرتبط با $P_{out}(f)$، از قبیل $\log P_{out}(f)$ می‌تواند ثبت شود تا درنهایت $|H(f)|$ در زیربند ۷-۱ حاصل شود.

۶-۳ روش پ- پهنای باند حالتی آغاز اشباع شده، محاسبه شده از تاخیر حالت تفاضلی (OMBC)

الف) تأخیر حالت تفاضلی تار را مطابق با مرجع IEC 60793-1-49 اندازه‌گیری کنید.
ب) پهنای باند حالتی اشباع شده را مطابق با فرمول B2 از مرجع IEC60793-1-49:2006 با استفاده از وزن‌های داده شده در جدول ۱ محاسبه کنید. درون‌یابی خطی مقدار وزن بهتر است برای هر موقعیت شعاعی از پویش[1] واقعی اعمال شود که بدانیم بین موقعیت‌های صحیح[2] فهرست شده در جدول ۱ قرار می‌گیرد.

یادآوری- وزن‌های جدول ۱ تنها برای تارهای A1a در ۸۵۰ نانومتر کاربردی هستند.

جدول ۱- وزن‌های DMD برای محاسبه پهنای باند حالتی (OMBc) از داده DMD تنها برای ۸۵۰ نانومتر

$r(\mu m)$	وزن‌هایDMD برای OMBC
۰	۰
۱	۰٫۰۰۰۷۳
۲	۰٫۰۰۱۵۷
۳	۰٫۰۰۲۵۳
۴	۰٫۰۰۳۶۲
۵	۰٫۰۰۴۸۷
۶	۰٫۰۰۶۳۱
۷	۰٫۰۰۷۹۵
۸	۰٫۰۰۹۸۳
۹	۰٫۰۱۱۹۸
۱۰	۰٫۰۱۴۴۳
۱۱	۰٫۰۱۷۲۵
۱۲	۰٫۰۲۰۴۶
۱۳	۰٫۰۲۴۱۴
۱۴	۰٫۰۲۸۳۶

1 - Scan
2 - Integer position

r(μm)	وزن‌هایDMD برای OMBC
۱۵	۰٫۰۳۳۱۷
۱۶	۰٫۰۳۸۶۹
۱۷	۰٫۰۴۵۰۰
۱۸	۰٫۰۵۲۲۱
۱۹	۰٫۰۶۰۴۷
۲۰	۰٫۰۶۹۹۲
۲۱	۰٫۰۸۰۷۳
۲۲	۰٫۰۹۳۱۰
۲۳	۰٫۱۰۷۲۵
۲۴	۰٫۱۲۳۴۵
۲۵	۰٫۱۴۱۹۷

۷ محاسبات یا تفسیر نتایج

۷-۱ بسامد -3 dB، f_{3dB}

پاسخ بسامدی یا $H(f)$را محاسبه کنید. پهنای باند 3dB- یا $f_{3\,dB}$ تار را در مطابقت با پیوست ب محاسبه کنید. اگر بسامد 3dB- اندازه‌گیری شده بیش از NIDL (که در زیربند ۴-۱-۴ محاسبه شده) تقسیم بر طول تار یا L به کیلومتر باشد، نتیجه اندازه‌گیری شده را گزارش دهید. در این مورد، ترجیح بر این است تا نشان داده شود که همانگونه که در مثال ۱ بیان شد، ممکن است نتیجه اندازه‌گیری توسط تجهیزات محدود شود.

مثال ۱: یک تار به طول ۲٫۲ کیلومتر دارای بسامد 3dB- اندازه‌گیری شده و به‌هنجار شده به طول ۲٫۲ گیگاهرتز×کیلومتر است، اما سامانه اندازه‌گیری دارای NIDL برابر با ۲ گیگاهرتز×کیلومتر در این طول موج است. ترجیحاً، نتیجه به صورت «> مقدار اندازه‌گیری شده و به‌هنجار شده» («> ۲٫۲ گیگاهرتز×کیلومتر» در این مثال) گزارش می‌شود. به طور مشابه، مقدار اندازه‌گیری واقعی ترجیحاً به صورت «>{مقدار اندازه‌گیری شده}» («> 1.0 GHz» در این مثال) گزارش می‌شود. علامت «>» نشان می‌دهد که مقدار اندازه‌گیری شده ممکن است توسط مجموعه آزمون محدود شده باشد. اگر بسامد 3dB- اندازه‌گیری شده بیش از SSFL (که در زیربند ۴-۶ تعیین‌شده) باشد، نتایج بزرگ‌تر از SSFL را همان‌طور که در مثال ۲ نشان داده شده گزارش دهید.

مثال ۲: یک تار به طول ۲٫۲ کیلومتر دارای بسامد 3dB- اندازه‌گیری شده ۰٫۹۵ گیگاهرتز (۲٫۰۹ گیگاهرتز×کیلومتر) است، که بزرگ‌تر از SSFL برای مجموعه آزمون یعنی ۰٫۹ گیگاهرتز (۱٫۹۸ گیگاهرتز×کیلومتر برای این طول تار) می‌باشد. نتیجه را به‌صورت «> (SSFL)» («>0,9 GHz»، در اینجا) گزارش کنید. نتیجه به‌هنجار شده به طول را به صورت «>(SSFL برابر طول نمونه به کیلومتر» («>1,98 GHz×km»، در اینجا) گزارش کنید. علامت «>» برای نشان دادن اینکه مقدار اندازه‌گیری شده توسط مجموعه آزمون محدود شده است نیاز می‌باشد.

۷-۲ محاسبات برای روش‌های گزارش‌دهی اختیاری

استاندارد مشخصات ممکن است روش‌های دیگر گزارش‌دهی را به جای $f_{3\,dB}$ الزام کند. به پیوست مناسب رجوع شود:

ب-۱: تابع انتقال تار، $H(f)$

ب-۲: طیف توان، $|H(f)|$

پ-۱: پاسخ ضربه تار، $h(t)$

پ-۲: پاسخ ضربه RMS، روش دقیق

پ-۳: پاسخ ضربه RMS، تفاضل تقریب مربعات[1]

۸ به‌هنجار کردن طول

ممکن است به‌هنجار کردن پهنای باند یا گسترش ضربه[2] نسبت به یک طول واحد، از قبیل GHz×km یا ns/km مطلوب باشد. اگر پهنای باند یا بازشدگی ضربه به طول واحد به‌هنجار شود، فرمول وابستگی به طول مورد استفاده بهتر است گزارش شود.

۹ نتایج

۹-۱ اطلاعاتی که باید در هر اندازه‌گیری فراهم شود

در هر آزمایش اطلاعات زیر را گزارش دهید:

- روش و شماره رویه آزمون استفاده شده
- شرایط آغاز استفاده شده (RML یا OFL، DMD)
- تاریخ آزمون
- شناسه نمونه آزمون
- نتایج آزمون: $f_{3\,dB}$ (۷-۱) یا نتایج سایر روش‌های گزارش‌دهی که استاندارد مشخصات آنها را الزام کرده است
- طول موج منبع (نامی یا واقعی)
- طول نمونه
- فرمول به‌هنجار کردن طول، در صورت استفاده

۹-۲ اطلاعات موجود برحسب درخواست

داده‌های زیر بهتر است برحسب درخواست موجود باشند:

1 - difference of square approximation
2 - Pulse broadening

- منبع: نوع، طول‌موج واقعی منبع، بیشینه مشخص شده با پهنای طیف واقعی (FWHM) – اگر اندازه‌گیری نشده بیان کنید
- شرح درهم‌ساز حالت و دستگاه آغاز
- NIDL، برای هر طول موج اندازه گرفته شده
- نوع آشکارساز و شرایط عملیاتی (کاری)
- جزئیات رویه محاسباتی برای محاسبه پهنای باند و یا روش‌های گزارش‌دهی دیگر
- روش لخت کردن روکش نوری
- تاریخ آخرین واسنجی تجهیزات آزمون
- عنوان آزمون
- کارکنان آزمون

۱۰ اطلاعات استاندارد مشخصات

استاندارد مشخصات باید اطلاعات زیر را مشخص کند:

- تعداد و نوع نمونه‌های مورد آزمون
- شماره رویه آزمون
- روش گزارش‌دهی مورد استفاده اگر غیر از ۷-۱ باشد
- طول‌موج(های) آزمون

پیوست الف

(الزامی)

ضریب پراکنش بین حالتی و محدودیت پراکنش بین حالتی به‌هنجار شده

الف-۱ ضریب پراکنش بین حالتی، IDF

این روش به منظور اندازه‌گیری پهنای باند بین حالتی تار است. با این حال، پراکنش افزونه ناشی از برهم‌کنش طیف لیزر و با پراکنش رنگی تار[1] می‌تواند مقدار اندازه‌گیری شده را کاهش دهد. هدف از IDF، فراهم کردن ابزاری برای محدود کردن این منبع خطای اندازه‌گیری است. واحد IDF، GHz×km×nm است، و بسامدی است که در آن پهنای باند اندازه گرفته شده به ٪۹۰ پهنای باند بین حالتی، در هر نانومتر از پهنای خط منبع، در هر کیلومتر از طول تار افت می‌کند. برای استخراج IDF، زیربند الف-۳ را ببینید. داده‌ها در جدول الف ۱ نمایانگر بالاترین پراکنش مورد انتظار برای هر یک از تارهای تجاری در دسترس رده A1 براساس عملکرد پراکنش نامی هستند. برای داده‌های کمتر از ۱۲۰۰ نانومتر در جدول، پراکنش بیشترین مقدار را با تار دارای بیشینه λ_0 دارد (تار 0.29 NA). برای داده‌های بزرگ‌تر از ۱۴۰۰ نانومتر در جدول، پراکنش بیشترین مقدار را با تار دارای کمینه λ_0 دارد (تار 0.2 NA). در اینجا λ_0 طول موج دارای پراکنش صفر است. بین ۱۲۰۰ نانومتر تا ۱۴۰۰ نانومتر، IDF استفاده نمی‌شود.

جدول الف-۱: بالاترین پراکنش مورد انتظار برای تارهای تجاری قابل دسترس A1

λ (nm)	IDF GHz×km×nm	λ (nm)	IDF GHz×km×nm	λ (nm)	IDF GHz×km×nm
۷۸۰	۱٫۳۱				
۷۹۰	۱٫۳۷				
۸۰۰	۱٫۴۴	۱۰۰۰	۳٫۵۴	۱۴۰۰	۲۳٫۱۸
۸۱۰	۱٫۵۰	۱۰۱۰	۳٫۷۱	۱۴۱۰	۲۱٫۱۵
۸۲۰	۱٫۵۷	۱۰۲۰	۳٫۹۰	۱۴۲۰	۱۹٫۴۹
۸۳۰	۱٫۶۴	۱۰۳۰	۴٫۰۹	۱۴۳۰	۱۸٫۰۹
۸۴۰	۱٫۷۲	۱۰۴۰	۴٫۳۰	۱۴۴۰	۱۶٫۹۰
۸۵۰	۱٫۷۹	۱۰۵۰	۴٫۵۲	۱۴۵۰	۱۵٫۸۷
۸۶۰	۱٫۸۸	۱۰۶۰	۴٫۷۶	۱۴۶۰	۱۴٫۹۸
۸۷۰	۱٫۹۶	۱۰۷۰	۵٫۰۲	۱۴۷۰	۱۴٫۲۰
۸۸۰	۲٫۰۵	۱۰۸۰	۵٫۳۰	۱۴۸۰	۱۳٫۵۰
۸۹۰	۲٫۱۴	۱۰۹۰	۵٫۶۰	۱۴۹۰	۱۲٫۸۹
۹۰۰	۲٫۲۴	۱۱۰۰	۵٫۹۲	۱۵۰۰	۱۲٫۳۳
۹۱۰	۲٫۳۴	۱۱۱۰	۶٫۲۷	۱۵۱۰	۱۱٫۸۳

1 - Fibre chromatic dispersion

IDF GHz×km×nm	λ (nm)	IDF GHz×km×nm	λ (nm)	IDF GHz×km×nm	λ (nm)
۱۱٫۳۷	۱۵۲۰	۶٫۶۵	۱۱۲۰	۲٫۴۵	۹۲۰
۱۰٫۹۶	۱۵۳۰	۷٫۰۷	۱۱۳۰	۲٫۵۶	۹۳۰
۱۰٫۵۸	۱۵۴۰	۷٫۵۳	۱۱۴۰	۲٫۶۸	۹۴۰
۱۰٫۲۳	۱۵۵۰	۸٫۰۳	۱۱۵۰	۲٫۸۰	۹۵۰
۹٫۹۱	۱۵۶۰	۸٫۵۹	۱۱۶۰	۲٫۹۳	۹۶۰
۹٫۶۱	۱۵۷۰	۹٫۲۲	۱۱۷۰	۳٫۰۷	۹۷۰
۹٫۳۴	۱۵۸۰	۹٫۹۲	۱۱۸۰	۳٫۲۲	۹۸۰
۹٫۰۸	۱۵۹۰	۱۰٫۷۱	۱۱۹۰	۳٫۳۷	۹۹۰
۸٫۸۴	۱۶۰۰				

یادآوری- فرضیات مورد استفاده: S_0 =0.09562 ps/(nm^2×km) ، λ_0 = 1344.5 nm برای MMF اسمی w/0.29 NA.

الف-۲ محدودیت پراکنش بین حالتی به‌هنجار شده، NIDL

بیشینه پهنای باندی که می‌توان به وسیله مجموعه آزمون گزارش کرد، توسط NIDL محدود می‌شود. با استفاده از مقادیر IDF از جدول الف-۱، NIDL برای هر اندازه‌گیری طول‌موج یک مجموعه آزمون مطابق با زیربند ۴-۱-۴ محاسبه می‌شود. عرض طیفی منبع مورد استفاده در محاسبه ممکن است یک مقدار بیشینه برای افزاره باشد که توسط سازنده افزاره مشخص شده است، یا ترجیحاً مقدار اندازه گرفته شده باشد.

از آنجایی که NIDL بر مبنای IDF است، پهنای باند اندازه گیری شده و به‌هنجار شده به طول برابر با NIDL، ۱۰٪ کمتر از پهنای باند بین حالتی واقعی است. برای پهنای باندهای اندازه گیری شده کمتر از NIDL، خطا کاهش می‌یابد، و سریعاً به بالاتر از آن افزایش می‌یابد. خطای واقعی به طور معمول چند درصد کمتر از این خواهد بود، زیرا پراکنش واقعی نمونه آزمون کمتر از مقدار مورد استفاده در IDF خواهد بود، و عرض طیفی منبع ممکن است اغراق‌آمیز باشد. به دلیل این تقریب‌ها و ناپایداری طیفی منبع، اصلاح پراکنش رنگی مناسب نیست.

NIDL برای طول موج‌های از ۱۲۰۰ نانومتر تا ۱۴۰۰ نانومتر تعریف نشده است، زیرا پراکنش بین حالتی در اندازه‌گیری‌های تار هنگامی که با لیزرهای در این گستره استفاده می‌شود قابل صرف نظر است.

یادآوری- محاسبات در جدول الف-۱ از فرض گوسی بودن طیف به دست آمده است. اگر این فرض معتبر نباشد، بهتر است در تفسیر نتیجه جدول مراقب بود.

الف-۳ استخراج IDF

برای استخراج IDF، فرض شده است که موارد زیر دارای توزیع‌های گوسی هستند:

۱) پهن‌شدگی رنگی و ضربه زمانی پراکندگی، به ترتیب D_{chrom} و D_{modal}.

۲) تمام پاسخ‌های بسامدی (دامنه‌ها)

۳) طیف منبع نوری که به‌صورت (FWHM ،nm) $\Delta\lambda_s$ بیان می‌شود

رابطه‌ی بین پراکنش و پهنای باند به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$D = \frac{K}{BW}$$ الف-۱

که در آن k = 187 برای پراکنش RMS برحسب ps است و پهنای باند 3dB- برحسب GHz می‌باشد. با فرض این که پراکنش رنگی و پراکندگی مستقل از یکدیگر هستند، پراکنش انبوهشی[1] (اندازه گرفته شده) یا D_{meas} را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$D_{meas} = \sqrt{D^2_{chrom} + D^2_{modal}}$$ الف-۲

با ترکیب الف-۱ و الف-۲ نتیجه زیر حاصل می‌شود:

$$\left[\frac{BW^2_{meas}}{BW^2_{chorm}}\right] + \left[\frac{BW^2_{meas}}{BW^2_{modal}}\right] = 1$$ الف-۳

فرض کنیم ε نشان‌دهنده خطا در اندازه‌گیری ناشی از پراکنش رنگی باشد، به طوری که:

$$BW_{meas} = (1-\varepsilon)BW_{modal}$$ الف-۴

پهنای باند رنگی (برحسب گیگاهرتز) را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$BW_{chorm} = \frac{440}{D(\lambda)L\Delta\lambda_s}$$ الف-۵

که در آن $D(\lambda)$، ضریب پراکنش رنگی تار (برحسب ps/(nm×km)) در طول موج λاست، و L طول تار برحسب کیلومتر است. $D(\lambda)$در مرجع IEC 60793-1-42 تعریف شده است.

تعریف IDF با ترکیب الف-۳، الف-۴ و الف-۵ حاصل می‌شود:

$$IDF = BW_{chorm} L\Delta\lambda_s = \frac{440\sqrt{2\varepsilon-\varepsilon^2}}{D(\lambda)}$$ الف-۶

به طورخاص برای $\varepsilon = 0.1$ (خطای ۱۰٪)،

$$IDF = \frac{192}{D(\lambda)}(GHz.km.nm)$$ الف-۷

که در آن $D(\lambda)$برحسب ps/(nm×km) است.

1 - Total dispersion

پیوست ب
(الزامی)
تابع انتقال تار، $H(f)$، طیف توان، $|H(f)|$، و f_{3dB}

ب-۱ تابع انتقال تار

ب-۱-۱ روش الف- اندازه‌گیری حوزه‌ی زمان (اعوجاج ضربه)

اندازه‌گیری حوزه زمان با ضربه ورودی یا $a(t)$، و ضربه خروجی یا $b(t)$آغازمی‌شود. تبدیل فوریه ضربه ورودی و ضربه خروجی تار را باید با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه کرد.

$$A(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) e^{-j2\pi ft}\, dt \qquad \text{(ب-۱)}$$

$$B(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} b(t) e^{-j2\pi ft}\, dt \qquad \text{(ب-۲)}$$

که در آن

$a(t)$ ضربه ورودی حوزه زمان است،

$b(t)$ ضربه خروجی حوزه زمان است،

$A(f)$ تبدیل فوریه ضربه ورودی است، و

$B(f)$ تبدیل فوریه ضربه خروجی بافه است.

برای روش حوزه زمان، تابع انتقال تار باید به صورت زیر محاسبه شود:

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \qquad \text{ب-۳}$$

یادآوری- $A(f)$، $B(f)$ و $H(f)$ بردارهایی با مقادیر مختلط هستند که معمولاً به صورت جفت‌های حقیقی و موهومی بیان می‌شوند.

ب-۱-۲ روش ب- اندازه‌گیری حوز بسامد

هنگامی‌که یک تحلیل‌گر شبکه یا تجهیزات اندازه‌گیری مرحله معادل استفاده می‌شود، تابع انتقال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A(f) = P_{in}(f) \times \left[\cos(\varphi_{in}(f)) + i \sin(\varphi_{in}(f))\right] \qquad \text{ب-۴}$$

$$B(f) = P_{out}(f) \times \left[\cos(\varphi_{out}(f)) + i \sin(\varphi_{out}(f))\right] \qquad \text{ب-۵}$$

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)} \qquad \text{ب-۶}$$

که در آن $A(f)$، $B(f)$ و $H(f)$ در رابطه ب-۱ تعریف شده است.

ب-۲ طیف توان

ب-۲-۱ روش الف– اندازه‌گیری حوزه زمان (اعوجاج ضربه)

پاسخ بسامدی برحسب dB یا $H(f)$ به صورت زیر از اندازه‌گیری حوزه زمان (اعوجاج ضربه) محاسبه می‌شود:

$$\left|H\left(f\right)\right| = 10\ Log_{10}\left[\sqrt{\mathrm{Re}\left(H\left(f\right)\right)^2 + \mathrm{Im}\left(H\left(f\right)\right)^2}\right] - 10\ Log_{10}\left[\mathrm{Re}\left(H\left(0\right)\right)\right] \qquad \text{ب-۳}$$

که در رابطه فوق $\mathrm{Re}(x)$ و $\mathrm{Im}(x)$ قسمت‌های حقیقی و موهومی مقدار مختلط x هستند و تفریق جمله بسامد صفر، طیف توان را به صفر دسی‌بل در بسامد صفر به‌هنجار می‌کند.

ب-۲-۲ روش ب– اندازه‌گیری حوزه بسامد

برای روش حوزه بسامد، محاسبات پاسخ بسامدی برحسب dB یا $H\left(f\right)$ می‌تواند به صورت زیر ساده شود:

$$\left|H\left(f\right)\right| = 10\ Log_{10}\left[\frac{P_{out}\left(f\right)}{P_{in}\left(f\right)}\right] - 10\ Log_{10}\left[\frac{P_{out}\left(0\right)}{P_{in}\left(0\right)}\right] \qquad \text{ب-۳}$$

که در آن:

$P_{in}\left(f\right)$ پاسخ بسامدی ورودی اندازه گرفته شده در زیربند ۶-۲-۲ است، و

$P_{out}\left(f\right)$ پاسخ بسامدی خروجی اندازه گرفته شده در زیربند ۶-۲-۱ است

و تفریق جمله بسامد صفر، طیف توان را به صفر دسی‌بل در بسامد صفر به هنجار می‌کند.

ب-۲-۳ بسامد 3dB–

بسامد 3dB– (توان نوری) $f_{3\mathrm{dB}}$ پایین‌ترین بسامدی است که در آن $|H(f)| = -3\mathrm{dB}$ است. برای تعیین $f_{3\mathrm{dB}}$ باید از درون‌یابی استفاده کرد.

پیوست پ
(الزامی)
محاسبات برای دیگر روش‌های گزارش‌دهی

پ-۱ پاسخ ضربه تار، $h(t)$

پاسخ ضربه تار آزمون یا $h(t)$ باید به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(f) e^{j2\pi ft} df \qquad \text{پ-۱}$$

که در آن $H(f)$ تابع انتقال مختلط تار است (به پیوست ب رجوع شود).

در بسامدهای بالا، اگر به الزامات ناصافی[1] در طول جمع‌آوری داده‌ها به شکلی منطقی پرداخته شود، $H(f)$ دارای نشانک به نویز ضعیفی خواهد بود. برای تولید پاسخ ضربه به اندازه کافی ملایم، پالایش (یعنی تضعیف) نویز بسامدی بالا مورد نیاز است. هر پالاینده‌ای که به کار می‌رود بهتر است پاسخ ضربه را به میزان قابل توجهی مخدوش نکند، و بنابراین بهتر است در بسامدی‌هایی که از 15dB- نقطه از تابع انتقال تار کمتر نیستند، قطع پایین گذر داشته باشد.

یادآوری- به منظور انجام این محاسبه برای اندازه‌گیری‌های حوزه بسامد (روش ب)، بهتر است اطلاعات مرحله نیز برای محاسبات پاسخ ضربه دقیق جمع‌آوری شود، که ممکن است با استفاده از یک تحلیل‌گر شبکه الکتریکی به جای تحلیل‌گر طیف الکتریکی انجام شود.

پ-۲ پاسخ ضربه RMS، روش دقیق

پهن‌شدگی ضربه RMS باید از پاسخ ضربه تار آزمون یا $h(t)$ محاسبه شود (به زیربند پ-۱ رجوع شود):

$$\sigma_{rms} = \sqrt{C_2^2 - C_1^2} \qquad \text{پ-۲}$$

با:

$$C_n = \int_0^{+\infty} t^n h(t) dt \qquad \text{پ-۳}$$

که در آن $n = 0,1,2, \ldots$.

پ-۳ پاسخ ضربه RMS، تفاضل تقریب مربعات

پاسخ ضربه RMS باید بر اساس تفاضل جذر میانگین مربعات ضربه‌های ورودی و خروجی به صورت زیر محاسبه شود:

$$\sigma_{r.m.s} = \sqrt{\sigma_B^2 - \sigma_A^2} \qquad \text{پ-۴}$$

که در آن

σ_B، r.m.s عرض ضربه خروجی تار است،

1- Aliasing

σ_A، r.m.s عرض ضربه ورودی است.

σ_A و σ_B باید مطابق روابط داده شده در پ-۲ باشند، که در آنها $h(t)$ با $a(t)$ و $b(t)$ به ترتیب برای σ_a و σ_b جایگزین می‌شوند.

پیوست ت
(الزامی)
الزامات درهم‌ساز حالتی برای شرایط آغاز اشباع شده در تارهای چند حالتی

ت-۱ مقدمه

این رویه، شرایط آغاز نور به تار آزمون را برای رسیدن به آغاز اشباع شده یکپارچه با یک دیود لیزری و یا سایر منابع نوری شرح می‌دهد. شرایط آغاز نور از طریق استفاده از درهم‌ساز حالت برقرار می‌شود. درهم‌ساز حالت بین منبع نوری و تار آزمون قرار می‌گیرد تا صرف نظر از خواص انتشار فضایی منبع نوری، توزیع تابشی را تولید کند که هسته تار آزمون و دهانه عددی را اشباع می‌کند.

با این وجود برای بسیاری از طراحی‌های درهم‌ساز حالت، شرایط آغاز تولیده شده به هم‌ترازی درهم‌ساز حالت/ منبع و برهم‌کنش با هر واسط نوری از قبیل اتصال‌دهنده‌ها یا سامانه‌های تصویربرداری نوری بستگی دارد. اگر منبع یا هر یک از اجزای سامانه نوری تغییر کند، آزمون‌های احراز صلاحیت بهتر است تکرار شود. هنگامی که به اندازه‌گیری‌های ظرفیت انتقال اطلاعات اعمال می‌شود، آغاز اشباع شده تکرارپذیری اندازه‌گیری خوبی را در اختیار می‌گذارد؛ مقصود لزوماً پیش‌بینی بهترین پهنای باند برای طول‌های پیوند زده شده نیست. همچنین یک ترکیب درهم‌ساز حالت/ منبع نوری خاص ممکن است برای یک اندازه قطر هسته و روزنه عددی تار آزمون رضایت بخش باشد و برای دیگری نباشد.

ت-۲ دستگاه

ت-۲-۱ منبع نوری

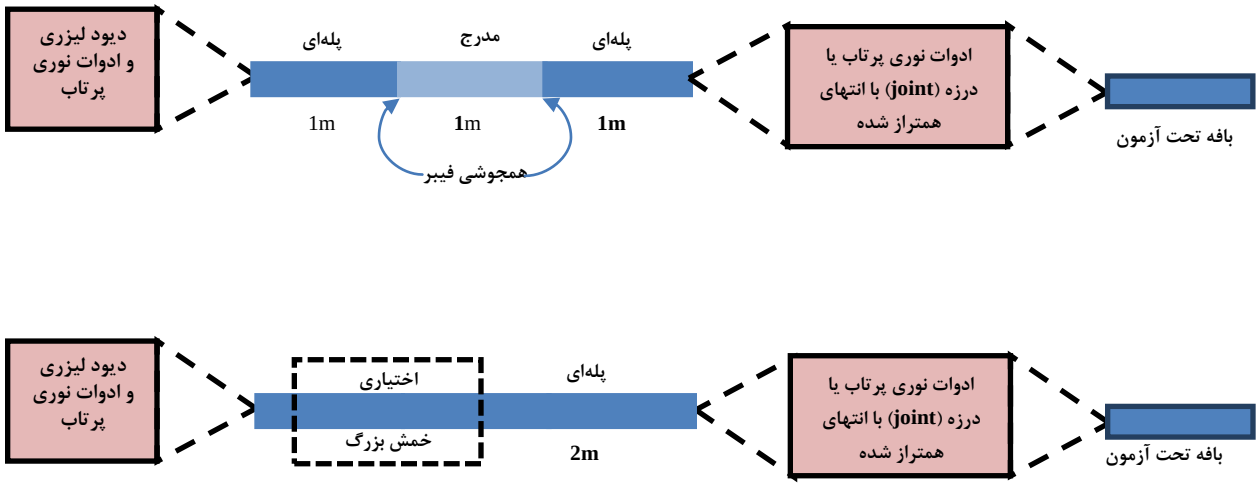
از منبع نوری نظیر دیود لیزری استفاده کنید

ت-۲-۲ درهم‌ساز حالت

ت-۲-۲-۱ کلیات

یک «درهم‌ساز حالت» افزاره‌ای است که بین منبع نوری و تار آزمون برای واپایش شرایط آغاز قرار می‌گیرد. یک طراحی حالت درهم‌ساز خاص مشخص نشده است. بهتر است تاکید شود که عملکرد این درهم‌سازها وابسته به آغاز نور و اندازه‌های تار (هسته و NA) است که در ساخت واقعی استفاده می‌شود.

نمونه‌ها: دو طراحی ارائه شده در شکل ت ۱ تنها توصیفی می‌باشند. ممکن است طرح‌های دیگر نیز عملکرد مناسبی داشته باشند.



شکل ت ۱- دو نمونه از درهم‌ساز بافه نوری

ت-۲-۲-۲ پله‌ای- مدرج-پله‌ای

درهم‌ساز حالت در شکل ت ۱ الف، ترکیب سری یک متری از تارهای با نمایه پله‌ای- مدرج-پله‌ای است که به هم بسته شده‌اند. برای اطلاعات مربوط به ساخت درهم‌سازهای حالت مطابق با طراحی پله‌ای– مدرج –پله‌ای به مراجع [۵] و [۶] رجوع شود.

ت-۲-۲-۳ پله‌ای همراه با خمش

درهم‌ساز حالت در شکل ت ۱ ب، از یک تار با طول واحد با نمایه پله‌ای استفاده می‌کند. برای اطلاعات بیشتر در مورد ساخت درهم‌سازهای حالت تارهای با نمایه مدرج، به مراجع [۷] و [۸] رجوع شود. در برخی موارد خمش قابل مشاهده یا مارپیچ کردن یا چندین نوبت پیچیدن تارِ با نمایه پله‌ای حول قالب باعث می‌شود که درهم‌ساز حالت نسبت به تراز بودن دیود لیزری حساسیت کمتری داشته باشد.

ت-۲-۲-۴ دستگاه آزمون برای احراز صلاحیت درهم‌ساز حالت

برای احراز صلاحیت درهم‌ساز حالت، لازم است که الگوهای تابشی میدان دور و نزدیک خروجی درهم‌ساز حالت هنگام تزویج به منبع نوری ت-۲-۱ اندازه‌گیری شوند. دستگاه آزمون مناسب در مراجع IEC 60793-1-20 و IEC 60793-1-43 شرح داده شده است. اگر آزمون‌های احراز صلاحیت روی تصویر خروجی درهم‌ساز حالت انجام شوند، ممکن است دستگاه آزمون مناسب از آنچه در مراجع IEC 60793-1-20 و IEC 60793-1-43 شرح داده شده متفاوت باشد.

ت-۲-۲-۵ افزاره/ ادوات نوری ریزموقعیت‌یابی[1]

دستگاهی برای تزویج نور از درهم‌ساز حالت به تار آزمون مورد نیاز است، که می‌تواند یک ریزموقعیت‌یاب همراه با ادوات نوری برای تصویر کردن خروجی درهم‌ساز حالت تا انتهای ورودی تار آزمون باشد. برای تضمین شرایط

1 - Micropositioning

تزویج تکرار پذیر، قدرت تفکیک فضایی[1] و تکرارپذیر بودن موقعیت بهتر است به اندازه کافی بالا باشد. در روش دیگر، می‌توان از یک مفصل موقت برای تزویج به پشت[2] خروجی درهم‌ساز حالت به انتهای ورودی تار آزمون استفاده کرد.

ت-۲-۳ سیم لخت کن‌های حالت روکش‌دار

در صورت استفاده از درهم‌ساز حالت در کاربردهایی که تضعیف تار اندازه گرفته می‌شود، سیم لخت کن حالت روکش‌دار را برای تار آزمون اعمال کنید، مگر اینکه روکش محافظ تار[3] برای جدا کردن روکش نوری کافی باشد.

ت-۳ نمونه‌برداری و نمونه‌ها

نمونه آزمون شامل منبع نوری و افزاره درهم‌ساز حالت است. همچنین افزاره‌های تثبیت موقعیت، ادوات نوری مرتبط از قبیل اتصال‌دهنده‌ها، سامانه‌های تصویربرداری نوری و تارهایی در نظر گرفته می‌شوند که در سامانه اندازه‌گیری استفاده می‌شوند.

ت-۴ رویه

ت-۴-۱ احراز صلاحیت درهم‌ساز حالت

ت-۴-۱-۱ کلیات

صرف نظر از طراحی، درهم‌ساز حالت بهتر است برای بازسازی قابل اطمینان شرایط آغاز زیربندهای ت-۴-۱-۲ و ت-۴-۱-۳ و ت-۴-۱-۴ در تار آزمون مناسب باشد. اگر شرایط آغاز برای تار آزمون به حد کافی پایدار بماند تا شرایط آغاز را برای تمام اندازه‌گیری‌های بعدی برآورده کند، نیازی به اجرای آزمون‌های احراز صلاحیت در محل نیست، و برای هر آزمونی که با استفاده از درهم‌ساز حالت انجام می‌شود نیز مورد نیاز نمی‌باشد. دستیابی به این پایداری می‌تواند برای مثال توسط اتصال دائمی دم خوکی (پیگ تیل)[4] یا اتصال دائمی منبع به درهم‌ساز حالت ایجاد شود. با این وجود برای بسیاری از طراحی‌های درهم‌ساز حالت، شرایط آغاز تولید شده وابسته به هم‌ترازی درهم‌ساز منبع/ حالت و برهم‌کنش با هر ادوات نوری واسطه‌ای مانند اتصال‌دهنده‌ها یا سامانه‌های تصویربرداری نوری است. اگر منبع یا هر مولفه‌ای در سامانه نوری تغییر کند، آزمون‌های احراز صلاحیت بهتر است تکرار شوند.

ت-۴-۱-۲ نقطه آغاز روی تار آزمون

با منبع نوری تزویج شده با تار درهم‌ساز حالت، الگوی انتشار میدان نزدیک که هسته تار آزمون را تحریک می‌کند بهتر است کمتر از ٪۲۵ در سرتاسر ناحیه هسته تار تغییر کند. بهتر است از اثرات نقطه-نقطه‌ای[5] اجتناب شود. اگر قطر هسته تار آزمون معلوم نباشد، بهتر است توسط مرجع IEC 60793-1-20 تعیین شود. اگر

1 - Spatial resolution
2 - Butt-couple
3 - Fibre buffer
4 - Pigtailing
5 - Speckles effect

درهم‌ساز حالت مستقیماً به تار آزمون متصل شود، الگوی انتشار میدان نزدیکی که هسته تار آزمون را تحریک می‌کند بهتر است اندازه‌گیری شود. اگر خروجی درهم‌ساز حالت به‌صورت نوری بر روی ورودی تار آزمون تصویر شود، بهتر است توزیع میدان نزدیک آغاز شده تعیین شود و به میدان نزدیک تعریف شده توسط مرجع IEC 60793-1-20 ارجاع شود.

ت-۴-۱-۳ زاویه انتشار آغاز به تار آزمون

با منبع نوری تزویج شده به تار درهم‌ساز حالت، توزیع شدت زاویه‌ای باید اندازه‌گیری شود که تار آزمون را تحریک می‌کند. دهانه عددی آغاز که به صورت سینوس نصف زاویه‌ای تعریف می‌شود که در آن شدت زاویه‌ای آغاز شده به ٪۵ مقدار بیشینه کاهش می‌یابد، بهتر است از ٪۵ دهانه عددی تار آزمون بیشتر شود. اگر ٪۵ دهانه عددی تار آزمون معلوم نباشد، بهتر است آن را توسط رویه‌های مرجع IEC 60793-1-43 مشخص نمود. اگر درهم‌ساز حالت مستقیماً به تار آزمون متصل شود، توزیع شدت زاویه‌ای از تار درهم‌ساز حالت که هسته تار آزمون را تحریک می‌کند، بهتر است مطابق با مرجع IEC 60793-1-43 اندازه گرفته شود. اگر خروجی درهم‌ساز حالت به صورت نوری تا روی ورودی تار آزمون تصویرگذاری شود، توزیع شدت زاویه‌ای آغاز شده را بهتر است مشخص نمود و به میدان دور تعریف‌شده توسط مرجع IEC 60793-1-43 ارجاع داد.

ت-۴-۱-۴ الزامات افزونه آغاز با استفاده از اندازه‌گیری‌های محدود شده

ت-۴-۱-۴-۱ نظر کلی

به منظور دستیابی به یک توزیع آغاز کاملاً یکنواخت، یکی از آزمون‌های زیر باید انجام شود و الزامات آن باید برآورده شود. این آزمون‌ها علاوه بر اندازه‌گیری‌های زیربند ت-۴-۱-۲ و ت-۴-۱-۲ است. یا در حالی که میدان دور خروجی درهم‌ساز حالت محدود شده است، میدان نزدیک دوباره اندازه‌گیری می‌شود (ت-۴-۱-۴-۲)، یا در حالی که میدان نزدیک خروجی درهم‌ساز حالت محدود شده است میدان دور دوباره اندازه‌گیری می‌شود (ت-۴-۱-۴-۳).

ت-۴-۱-۴-۲ اندازه‌گیری‌های میدان نزدیک با میدان دور محدود شده

زمانی که دهانه عددی آغاز شده توسط درهم‌ساز حالت (یعنی زاویه آغاز) به مقدار بیش از ٪۵۰ کاهش می‌یابد، بهتر است الزامات زیربند ت-۴-۱-۲ (آغاز نقطه‌ای) همچنان برآورده شوند. راه مناسب برای آزمودن این مورد، استفاده از تار تک حالته استانداردی است که دارای NA تقریباً ۰٫۱ می‌باشد که از نصف NA درهم‌ساز حالت تحت آزمون با مقدار نوعی ۰٫۳ کمتر است. یک اندازه‌گیری افزونه میدان نزدیک توسط پویش تار تک حالتی استاندارد در سرتاسر خروجی درهم‌ساز حالت برای تایید این امر انجام می‌شود که میدان نزدیک هنوز هم الزامات ت-۴-۱-۲ را برآورده می‌کند.

ت-۴-۱-۴-۳ اندازه‌گیری‌های میدان دور با میدان نزدیک محدود شده

الزامات بند ت-۴-۱-۳ (زاویه انتشار آغاز) زمانی که گستره فضایی آغاز شده توسط درهم‌ساز حالت (اندازه نقطه[1]) بیشتر از ٪۵۰ کاهش یافته باشد بهتر است همچنان برآورده شود. یک روش مناسب برای آزمودن این مسئله، استفاده از دهانه‌ای است که در صفحه‌ی تصویر خروجی درهم‌ساز حالت قرار گرفته است. اندازه‌گیری میدان دور افزونه با دهانه محدود کننده تصویر نیز انجام می‌شود تا تایید کند که میدان دور هنوز هم الزامات ت-۴-۱-۳ را برآورده می‌کند.

ت-۴-۲ هم‌ترازی تار آزمون در خروجی درهم‌ساز حالت

ت-۴-۲-۱ کلیات

درصورتی‌که آزمون‌های احراز صلاحیت زیربند ت-۴-۱ روی یک تصویر خروجی درهم‌ساز حالت انجام شوند، از روش الف برای هم‌ترازی استفاده نمایید. اگر آزمون‌ها مستقیماً روی خروجی درهم‌ساز حالت انجام می‌شوند، از روش ب یا پ برای هم‌ترازی استفاده نمایید.

ت-۴-۲-۲ روش الف- ادوات نوری تصویرگری

اگر از ادوات نوری راه‌انداز برای تصویر کردن نور از خروجی درهم‌ساز حالت به تار آزمون (شکل ت ۱) استفاده می‌شود، در این صورت بهتر است فنی را به کار برد که از ریز موقعیت‌یاب‌ها و لنزها استفاده می‌کند تا هسته تار آزمون را در مرکز تصویر خروجی درهم‌ساز حالت قرار دهد. آزمون‌های احراز صلاحیت برای درهم‌ساز حالت بهتر است هر تأثیری از ادوات نوری تصویربرداری نظیر بزرگ نمایی زاویه آغاز یا تصویر را در نظر بگیرند. در موارد ناسازگار (اختلاف)، این روش یا روش ب که در ادامه می‌آید ترجیح داده می‌شود.

ت-۴-۲-۳ مفصل با قابلیت جداسازی (انتقال)

اگر ادوات نوری راه‌انداز بکار برده نشده‌اند، آنگاه خروجی درهم‌ساز حالت را می‌توان توسط یک مفصل موقت به بافه نوری متصل کرد که درهم‌ساز حالت را با هسته تار آزمون هم‌تراز می‌کند و سطوح انتهایی را در تماس نزدیک با یکدیگر نگه می‌دارد. در این مورد، قطر هسته تار درهم‌ساز حالت بهتر است بزرگ‌تر یا مساوی قطر تار آزمون باشد.

ت-۴-۲-۴ روش پ- تزویج به انتها

اگر ادوات نوری آغاز بکار برده نشده‌اند، و تار آزمون به انتهای خروجی درهم‌ساز حالت تزویج به پشت شده است، بهتر است تار آزمون به صفحه عمود بر محور جابجا شود تا توان تزویج بیشینه شود.

ت-۴-۳ آزمون اندازه‌گیری

بعد از آن که درهم‌ساز حالت احراز صلاحیت شد، و خروجی توسط روش الف، ب یا پ به تار آزمون تزویج شد، می‌توان آزمون پارامتر تار را آغاز نمود.

1 - Spot size

ت-۵ محاسبات یا تفسیر نتایج

احراز صلاحیت درهم‌ساز حالت از معیار عبور/ رد اشاره شده در بندهای پیشین استفاده می‌کند. محاسبات افزونه ضروری نیست.

ت-۶ نتایج

ت-۶-۱ اطلاعاتی که باید در هر اندازه‌گیری فراهم شود

اطلاعات زیر را در هر اندازه‌گیری گزارش کنید:

- تاریخ آزمون
- شناسه[1] رویه مورد استفاده
- شناسه نمونه
- روش هم‌ترازسازی درهم‌ساز حالت: روش الف، ب یا پ؛
- طول موج آزمون

ت-۶-۲ اطلاعات موجود برحسب درخواست

اطلاعات زیر باید برحسب درخواست موجود باشند:

- شرح تفضیلی درهم‌ساز حالت/ منبع نوری
- احراز صحت درهم‌ساز حالت با داده‌هایی که یکنواختی نقطه آغاز را روی هسته تار آزمون و دهانه عددی آغاز نسبت به تار آزمون نشان می‌دهند.
- نام(های) کارکنان آزمون
- تجهیزات آزمون مورد استفاده و تاریخ آخرین واسنجی

1- Identification

پیوست ث
(آگاهی‌دهنده)
کتاب‌شناسی

[1] IEC 60793-2-101, *Optical fibres – Part 2-10: Measurement methods and test procedures – Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres*

[2] IEC 60793-2-30, *Optical fibres – Part 2-30: Product specifications – Sectional specification for category A3 multimode fibres*

[3] IEC 60793-2-40, *Optical fibres – Part 2-40: Product specifications – Sectional specification for category A4 multimode fibres*

[4] M. HORIGUCHI, Y. OHMORL, H. TAKATA, *Profile Dispersion Characteristics in High-Bandwidth Graded-Index Fibres,* Applied Optics Vol. 19, No. 18, p. 3 159, 15Sept. 1980

[5] LOVE, W.F., *Novel mode scrambler for use in optical-fibre bandwidth measurements.* Tech. Digest, Topical Meeting on Optical Fibre Communications, March 6-8, 1979,Washington, D.C.; Paper ThG2, p. 118.

[6] KOBAYASHI, I., *Bandwidth measurement in multimode optical fibres.* Tech. Digest, Symposium on Optical Fibre Measurements, Nat. Bur. Stand. (U.S.) Spec. Publ. 597, p. 49-54; 1980.

[7] TANIFUJI, T., et al., *Baseband-frequency-response measurement of graded-index fibre using step index fibre as an exciter.* Electron. Lett., no. 7, p. 204; March 29, 1979.

[8] FRANZEN, D.L. AND DAY, G.W., *Measurement of optical fibre bandwidth in the time domain.* Nat. Bur. Stand. (U.S.) Tech. Note 1019; Feb. 1980.