ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 60793-1-41— 2013

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-41

Методы измерений и проведение испытаний. Ширина полосы пропускания

IEC 60793-1-41:2010
Optical fibres – Part 1-41:
Measurement methods and test procedures – Bandwidth

(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Всерос-сийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности (ОАО «ВНИИКП») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 46 «Кабельные изделия»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 06 сентября 2013 г. № 908-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60793-1-41:2010 «Волокна оптические. Часть 1-41. Методы измерений и проведение испытаний. Ширина полосы пропускания» (IEC 60973-1-41:2010 «Optical fibres – Part 1-41: Measurement methods and test procedures – Bandwidth).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использо-вать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о кото-рых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.–2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети интернет (gost.ru).

© Стандартинформ, 2014

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-41

Методы измерений и проведение испытаний. Ширина полосы пропускания

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

Дата введения — 2015—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает три метода определения и измерения модальной ширины полосы многомодовых оптических волокон (МЭК 60793-2-10, серия МЭК 60793-30 и серия МЭК 60793-40). Частотную характеристику в пределах полной полосы модулирующих частот непосредственно измеряют в частотной области методом определения реакции оптического волокна (далее — волокно) на воздействие синусоидально модулированного источника излучения. Частотная характеристика в пределах полной полосы модулирующих частот также может быть измерена методом отслеживания расширения узкого импульса света. Рассчитанную характеристику определяют с использованием значений дифференциальной модовой задержки (DMD). Приведены три метода:

- метод А: измерение временной области (искажения импульса);
- метод В: измерение частотной области;
- метод С: модовая ширина полосы при насыщающем возбуждении, рассчитанная из дифференциальной модовой задержки (OMBc).

При методах А и В используют один из двух способов возбуждения волокна: насыщающее возбуждение (OFL) и возбуждение с ограничением мод (RML). Метод С предназначен для многомодовых волокон типа А1а.2 (и для подготовки волокна типа А1а.3). При данном методе применяют взвешенное суммирование характеристик возбуждения, рассчитанных с использованием значений DMD и весовых коэффициентов, соответствующих насыщающему возбуждению. Соответствующий метод испытания и способ возбуждения выбирают в соответствии с типом волокна.

Примечания

1 Настоящие методы испытаний, как правило, применяют при производстве и проведении научно-исследовательских работ; при эксплуатации волокна их применение затруднительно.

2 Способ возбуждения OFL применяли в течение многих лет для определения модальной широкополосности в системах возбуждения, использующих светодиоды. Однако для источников возбуждения в виде лазера (например, VCSEL), используемых при гигабитных и выше скоростях передачи данных, не было указано ни одного способа возбуждения. Это вызвало необходимость разработки МЭК 60793-1-49 для определения модового коэффициента широкополосности волокна 50 мкм, оптимизированного для использования лазера в качестве источника возбуждения. Подробная информация может быть получена из МЭК 60793-2-10:2004 и МЭК 61280-4-1:2003 или более поздних редакций этих стандартов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие международные стандарты:

МЭК 60793-1-20[1)] Волокна оптические. Часть 1-20. Методы измерений и проведение испытаний. Геометрия волокна (IEC 60793-1-20 Optical fibres – Part 1-20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry)

МЭК 60793-1-42[1)] Волокна оптические. Часть 1-42. Методы измерений и проведение испытаний. Хроматическая дисперсия (IEC 60793-1-42 Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion)

[1] Для недатированных ссылок следует применять последнее издание указанного стандарта, включая все последующие изменения.

Издание официальное

МЭК 60793-1-43[1)] Волокна оптические. Часть 1-43. Методы измерений и проведение испытаний. Числовая апертура (IEC 60793-1-43 Optical fibres – Part 1-43: Measurement methods and test procedures – Numerical aperture)

МЭК 60793-1-49:2006 Волокна оптические. Часть 1-49. Методы измерений и проведение испытаний. Дифференциальная задержка мод (многомодовая групповая задержка) (IEC 60793-1-49 Optical fibres – Part 1-49: Measurement methods and test procedures – Differential mode delay)

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия).Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия).Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **ширина полосы пропускания (минус 3 дБ)** [bandwidth (–3 dB)]: Величина, численно равная самой низкой частоте модуляции, на которой значение передаточной функции полосы модулирующих частот оптического волокна уменьшается до определенного уровня, как правило, равного половине значения нулевой частоты. Ширину полосы пропускания в настоящем стандарте обозначают как $f_{3\,dB}$.

Примечание — Известно, что во избежание включения в отчет крайне высоких значений, связанных с «областями насыщения», могут быть проведены разные расчеты, иногда называемые расчетами с понижением значений. Например, в МЭК 60793-1-49 используют умножение значения частоты в 1,5 дБ на $\sqrt{2}$. Если применяют такой расчет, то это указывают в отчете об испытании.

3.2 **передаточная функция** (transfer function): Дискретная функция комплексных чисел, зависящая от частоты, представляющая собой характеристику частотной области испытуемого волокна.

Примечание — Метод А позволяет определить частотную характеристику посредством обработки данных временной области при использовании преобразования Фурье. Методом В определяют передаточную функцию только при условии использования инструмента, позволяющего измерять как фазу, так и амплитуду. Метод С аналогичен методу А, так как при этом методе также применяют преобразования Фурье. В настоящем стандарте передаточную функцию обозначают $H(f)$.

3.3 **спектр мощности** (power spectrum): Дискретная функция действительных чисел, зависящая от частоты, представляющая собой амплитуду характеристики частотной области испытуемого волокна.

Примечание — Методы А и С позволяют определять спектр мощности через передаточную функцию. Методом В определяют передаточную функцию как отношение амплитуды сигнала, измеренной по всей длине испытуемого волокна, к эталонному значению. В настоящем стандарте спектр мощности обозначают $|H(f)|$.

3.4 **импульсная характеристика** (impulse response): Дискретная функция действительных чисел, зависящая от времени, представляющая собой временную характеристику испытуемого волокна при использовании совершенного импульса в качестве входного сигнала. Во всех методах импульсную характеристику получают способом обратного преобразования Фурье передаточной функции. В настоящем стандарте импульсную характеристику обозначают $h(t)$.

4 Испытательное оборудование

4.1 Источник излучения

4.1.1 Метод А. Измерение во временной области (искажение импульса)

Для проведения измерений используют источник излучения, такой как инжекционный лазерный диод, излучающий импульсы короткой длительности и с узким спектром. При методе измерения искажения импульса требуется способность электрического или оптического переключения энергии источников света. Некоторые источники света для производства импульса должны возбуждаться электрическим сигналом. В этом случае должны быть предусмотрены устройства генерации импульсов возбуждения. С этой целью может быть использован генератор электрической функции или эквивалентное устройство. Его выходная мощность должна быть использована как для побуждения выработки импульса источником света, так и приведения в действие системы регистрации. Другие источники света могут самовозбуждаться, в этом случае должны быть предусмотрены средства для синхронизации системы регистрации с импульсами, исходящими от источника света. В некоторых случаях это может быть достигнуто применением электрических средств, в других случаях – оптоэлектронных средств.

4.1.2 Метод В. Измерение в частотной области

Для проведения измерений в качестве источника излучения используют инжекционный лазерный диод непрерывного излучения. При использовании метода измерения в частотной области требуется способность модулировать энергию источника света электрическим или оптическим способом. Модуляционный выход следящего генератора или анализатора сети соединяют с модулятором с помощью любого указанного задающего усилителя.

4.1.3 Метод С. Модовая ширина полосы при насыщающем возбуждении, рассчитанная из дифференциальной модовой задержки (OMBc)

Используют источник излучения как указано в МЭК 60793-1-49.

4.1.4 Для методов А и В

a) Используют источник излучения с известным значением центральной длины волны, находящимся в пределах ± 10 нм указанного номинального значения длины волны. В случае применения инжекционных лазерных диодов лазерное излучение, вводимое в волокно, должно превышать спонтанное излучение не менее чем на 15 дБ (оптическое).

b) Используют источник с достаточно узкой шириной линии для того, чтобы измеренная ширина полосы составляла не менее 90 % от межмодовой ширины полосы. Этого достигают вычислением предела нормированной межмодовой дисперсии, NIDL (см. приложение А). Для волокна категории А4 ширина линии любого лазерного диода достаточно узкая, что позволяет не учитывать ее при измерении ширины полосы пропускания.

c) Для волокон категорий А1 и А3 рассчитывают NIDL, ГГц·км, (приложение А) каждого измеренного значения длины волны из ширины спектра оптического источника для этой длины волны следующим образом:

$$\mathrm{NIDL} = \frac{\mathrm{IDF}}{\Delta\lambda},$$

где Δλ – полная ширина кривой распределения по уровню 0,5 спектральной ширины источника;

IDF – коэффициент межмодовой дисперсии, ГГц·км·нм, взятый из приложения А в соответствии с длиной волны источника;

NIDL – не определен для длин волн в диапазоне 1200–1400 нм. Спектральная ширина источника для этих длин волн должна быть не более 10 нм по уровню 0,5.

Примечание — Приемлемость значений NIDL зависит от указанных потребителем требований к испытаниям. Например, NIDL с значением 0,5 ГГц·км будет приемлемым для проверки того, что минимальная ширина полосы волокна превышает некоторое значение меньшее 500 МГц·км, но не будет приемлемым для проверки того, что минимальная ширина полосы волокна превышает 500 МГц·км. При слишком низком значении NIDL требуется источник с меньшей спектральной шириной.

d) Источник излучения должен быть спектрально стабильным по всей длительности одного импульса и в течение времени проведения измерения.

4.2 Система возбуждения

4.2.1 Насыщающее возбуждение (OFL)

4.2.1.1 Условия OFL для волокна категории A1

Независимо от свойств излучения источника света между источником света и испытуемым образцом для управляемого возбуждения используют смеситель мод. Выход смесителя мод соединяют с входным концом испытуемого образца в соответствии с приложением D. Положение волокна должно быть устойчивым в течение всего времени измерений. При необходимости формирования изображения для выравнивания волокна может быть использована смотровая система.

Рекомендации по OFL в приложении A, основанные на допустимых колебаниях интенсивности света на входе испытуемого волокна, могут привести к большим (>25 %) несовпадениям результатов измерений для больших значений длин волн (>1500 МГц·км) для волокон типа A1a. Эти несовпадения вызваны незначительными различиями в условиях возбуждения соответствующих устройств. Для исправления данной ситуации применяют метод C.

Принимают меры для удаления света из оболочки в испытуемом образце. Часто для этого достаточно покрытия волокна. В других случаях необходимо использовать фильтры оболочечных мод вблизи обоих концов испытуемого образца. Волокно может удерживаться на фильтрах оболочечных мод с помощью малых грузов, но в этих местах следует избегать микроизгибов волокна.

Примечание — Измерения ширины полосы волокна, проводимые с помощью насыщающего возбуждения (OFL), подтверждают преимущество использования многомодовых волокон категории A1, особенно в случае применения светодиодов с длинами волн 850 и 1300 нм. Применение лазеров при данном виде возбуждения в некоторых случаях также может быть обосновано, но может привести к уменьшению длин связи (при 850 нм) или ограничениям на использование лазерных источников (при 1300 нм).

4.2.1.2 Условия OFL для волокон категорий A3 и A4

OFL достигается геометрическим оптическим возбуждением, при котором конус возбуждения превосходит максимальную теоретическую числовую апертуру волокна и диаметр возбуждающего светового пятна является величиной одного порядка с диаметром сердцевины волокна. Источник света должен быть способен возбуждать в волокне в одинаковой мере моды как низкого, так и высокого порядка.

Примечание — Смеситель мод возбуждает в разной степени все моды. Возбуждение моды – очень чувствительный процесс по отношению к конструкции источник/смеситель мод и взаимодействию с промежуточной оптикой, такой как соединители или системы формирования изображения. Источник света с большими значениями числовой апертуры и диаметра сердечника будет возбуждать только меридиональные моды или моды $LP_{0,m}$.

4.2.2 Возбуждение с ограничением мод (RML)

4.2.2.1 Условия RML для волокна типа A1b

RML для ширины полосы волокна создается методом фильтрации насыщающего возбуждения (как указано в приложении D) с помощью специального RML волокна. OFL, которое определяют в соответствии с приложением D, должно быть достаточно большим для насыщения RML волокна под углом и в пространстве. RML волокно имеет диаметр сердцевины (23,5 ± 0,1) мкм и числовую апертуру 0,208 ± 0,01. Волокно должно иметь градиентный профиль со значением $\alpha \approx 2$ и шириной полосы при OFL более 700 МГц·км при 850 и 1300 нм. Для удобства диаметр оболочки должен быть равен 125 мкм. RML волокно должно иметь длину не менее 1,5 м для исключения мод утечки, но менее 5 м во избежание воздействий переходных помех. Возбуждение, возникающее в RML волокне, затем передается в испытуемое волокно.

Принимают меры для удаления света из оболочки в испытуемом образце. Часто для этого достаточно покрытия волокна. В других случаях необходимо использовать фильтры оболочечных мод вблизи обоих концов испытуемого образца. Волокно может удерживаться на фильтрах оболочечных мод с помощью малых грузов, но в этих местах следует избегать микроизгибов волокна.

Примечания

1 Для достижения наивысшей точности требуются строгие допуски по геометрии и профилю RML волокна. Для достижения наивысшей воспроизводимости результатов измерений требуются строгие допуски в точности совмещения при соединении возбуждающего RML волокна и испытуемого волокна, чтобы RML волокно было отцентрировано с испытуемым волокном.

2 Измерения ширины полосы, проводимые с помощью возбуждения с ограничением мод, свидетельствуют в пользу использования волокна с лазерным возбуждением в сетях 1 Гб Ethernet. Доказано, что данное возбуждение особенно эффективно для источников с длиной волны 850 нм при их использовании с волокном типа A1b.

4.2.2.2 Условия RML для волокна категории A3

Условия RML для волокна категории A3 создают с помощью геометрического оптического возбуждения, которое соответствует числовой апертуре возбуждения, равной 0,3.

Размер пятна должен быть не менее размера сердцевины.

4.2.2.3 Условия RML для волокна категории A4

RML для волокна категории A4 должно соответствовать значению числовой апертуры (NA), равному 0,3, что может быть достигнуто фильтрованием насыщающего возбуждения с помощью модового фильтра, намотанного вокруг оправки, как показано на рисунке 1. Модовый фильтр должен быть из волокна той же категории, что и испытуемое волокно. Во избежание избыточных потерь длина волокна должна быть равна 1 м. Диаметр оправки должен в 20 раз превышать толщину оболочки волокна, и число витков может быть равно 5.

Примечание — Волокно наматывают на оправку, не прилагая чрезмерных усилий. Намотанное волокно допускается закреплять клеящим веществом. Ненамотанные части волокна выпрямляют.

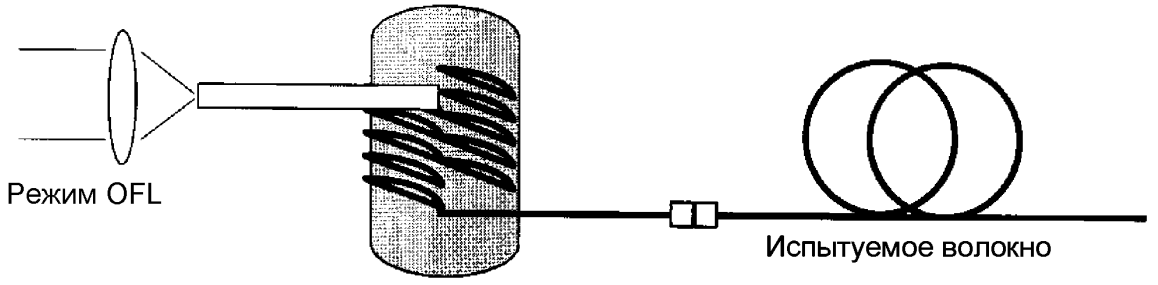

Рисунок 1 – Модовый фильтр, намотанный на оправку

4.2.3 Возбуждение с дифференциальной модовой задержкой (DMD)

DMD возбуждение должно соответствовать требованиям к возбуждению, указанным в МЭК 60793-1-49.

4.3 Система детектирования

Оборудование для детектирования выходного оптического сигнала должно обеспечивать передачу всех направленных мод от испытуемого образца к активной области детектора таким образом, чтобы чувствительность обнаружения не зависела бы в значительной степени от структуры моды.

Для проведения измерений необходимо устройство, позволяющее располагать выходной конец образца с достаточной устойчивостью и воспроизводимостью и соответствующее условиям, указанным в 4.6.

Используют оптический детектор, соответствующий указанному испытательному значению длины волны, с линейной амплитудной характеристикой, имеющей равномерное распределение в пространстве в пределах 10 % и достаточной для обнаружения всей излучаемой мощности. Оптический аттенюатор может быть использован для управления интенсивностью оптического излучения, поступающего на детектор, и не должен зависеть от связи мод.

Электронные устройства детектирования, также как и предусилитель сигнала, должны иметь линейную характеристику (нелинейность должна быть менее 5 %) в диапазоне обрабатываемых сигналов.

Система детектирования для метода C должна соответствовать требованиям МЭК 60793-1-49.

4.4 Система регистрации

При проведении измерения во временной области (искажение импульса) (метод А) используют осциллограф, соответствующим образом соединенный с регистрирующим устройством, таким как цифровой процессор, для хранения амплитуды полученного импульса как функции от времени. Для временных измерений данные, получаемые с дисплея осциллографа, считают второстепенными по отношению к данным, полученным из зарегистрированного сигнала.

При проведении измерений в частотной области (метод В) используют комбинацию из следящего генератора и электрического анализатора спектра, скалярный сетевой анализатор, векторный сетевой анализатор или эквивалентный инструмент для обнаружения, отображения и регистрации амплитуды сигнала с радиочастотной модуляцией, полученный от оптического детектора. Это должно быть выполнено способом, позволяющим уменьшить гармонические искажения менее чем до 5 %.

При применении метода С система регистрации должна соответствовать требованиям МЭК 60793-1-49.

4.5 Вычислительное оборудование

При проведении измерения во временной области (искажение импульса, метод А) и ширине полосы волокна при насыщающем возбуждении, рассчитанной из дифференциальной модовой задержки (метод С), или если требуется вычисление импульсной характеристики по методу В, используют вычислительное оборудование, способное выполнять преобразования Фурье обнаруженного оптического импульса, имеющего форму, полученную в системе регистрации формы сигнала. Это оборудование может выполнять любые из нескольких быстрых преобразований Фурье или других соответствующих алгоритмов и также пригодно для использования с другими функциями преобразования сигнала, усреднения формы сигнала и хранения данных.

4.6 Общие характеристики системы

Примечание — Настоящий подраздел позволяет проверить устойчивость системы во время измерения или калибровки системы в зависимости от используемого метода (А, В или С, см. 6.1, 6.2 и МЭК 60793-1-49 соответственно).

Устойчивость системы измерений испытывают методом сравнения преобразований Фурье импульса на входе системы (метод В) или входных частотных характеристик на каком-то интервале времени. Как показано в приложении В, измерение ширины полосы позволяет нормировать преобразование импульса на выходе волокна методом перекалибровки системы. Если эталонный образец заменят образцом волокна, то результирующая характеристика $H(f)$ будет сравнением системы самой с собой на каком-то промежутке времени. Такая устойчивость нормированной амплитуды системы используется для определения предела устойчивости системы по частоте (SSFL).

SSFL является самой низкой частотой, при которой значение отклонения устойчивости амплитуды системы от согласованного значения составляет около 5 %. При применении метода А-1 или В-1 эту частоту определяют на основе одного повторного измерения на промежутке времени, соответствующем промежутку времени фактического измерения на волокне. При применении метода А-2 или В-2 эту частоту определяют главным образом на том же промежутке времени, на котором проводят периодическую калибровку системы (см. 6.1.2). В последнем случае промежуток времени может влиять на SSFL.

Для определения SSFL уменьшают значение мощности оптического сигнала, достигающего детектора, на значение, равное или большее значения затухания сигнала в испытуемом волокне, плюс 3 дБ. Для этого в составе оптического пути может потребоваться аттенюатор, если уже не присутствует аттенюатор, который может быть использован для нормирования и масштабирования сигнала. Также при определении SSFL на устройстве отображения должны наблюдаться нормальные отклонения в положении и амплитуде импульса или частотной характеристики.

5 Отбор и подготовка образцов

5.1 Испытуемый образец

Испытуемый образец оптического волокна или оптоволоконного кабеля должен иметь известную длину.

5.2 Эталонный образец

Эталонный образец представляет собой короткий отрезок волокна того же типа, что и испытуемое волокно, или же отнятый от испытуемого волокна. За исключением волокна категории А4, длина эталонного образца должна быть менее 1 % длины испытуемого образца и при этом менее 10 м.

Для волокна категории А4 эталонный образец должен иметь длину 1–2 м. В случае RML выходной конец фильтра мод служит эталоном.

5.3 Подготовка торцевой поверхности

Подготавливают гладкую, плоскую торцевую поверхность, перпендикулярную к оси волокна.

5.4 Упаковка испытуемого образца

Для волокон категории А1 условия размещения (тип катушки, натяжение при намотке и другие параметры намотки) могут значительно влиять на результаты. Как правило, большую часть измерений по контролю качества волокна проводят на волокне, размещенном на катушках способом, подходящим для отправки волокна потребителю. Следовательно, при эталонном размещении волокно находится в ненагруженном состоянии и имеет минимальное количество микроизгибов. Отображающая функция может быть использована для указания в отчете ожидаемого значения, которое получают из измерения при эталонном размещении волокна, основанного на измерениях волокна, размещенного на поставочной катушке. Отображающую функцию получают из измерений на комплекте волокон, размещенных обоими способами и представляющих полный диапазон соответствующих значений ширины полосы.

Для волокон категории А4 испытуемый образец наматывают витками диаметром не менее 300 мм, не прилагая усилия. В испытуемом образце не должно быть макро- и микроизгибов и распределение энергии на выходе системы возбуждения должно быть постоянным.

5.5 Расположение испытуемого образца

Входной конец испытуемого образца располагают на одной линии с выходным концом системы возбуждения с целью создать условия возбуждения в соответствии с 4.2.

Выходной конец испытуемого волокна располагают на одной линии с оптическим детектором.

6 Порядок проведения испытания

6.1 Метод А. Измерение во временной области (искажение импульса)

6.1.1 Измерение выходного импульса

a) Вводят энергию сигнала в испытуемое волокно и настраивают оптический аттенюатор или электронику обнаружения сигнала, или то и другое таким образом, чтобы оптический импульс из волокна полностью отображался на откалиброванном осциллографе, включая передний и задний фронты импульса, имеющие амплитуду не менее 1 % или минус 20 дБ от пиковой амплитуды.

b) Регистрируют амплитуду обнаруженного сигнала и частоту развертки откалиброванного осциллографа.

c) Регистрируют импульс на выходе волокна и рассчитывают преобразование Фурье этого импульса в соответствии с приложением В.

d) Определяют импульс на входе испытуемого образца методом измерения сигнала, возбуждающего эталонный образец. Для этого может быть использован эталонный отрезок, отнятый от испытуемого волокна или от подобного волокна.

6.1.2 Метод А-1. Измерение входного импульса: эталонный образец, отнимаемый от испытуемого образца

a) Испытуемое волокно разрезают вблизи входного конца в соответствии с 5.2. Подготавливают новую торцевую поверхность на выходе волокна в соответствии с 5.3 и устанавливают конец волокна на одной линии с оптическим детектором, как указано в перечислении а) 6.1.1. Не нарушают положения входного конца.

b) Применяют фильтр оболочечных мод, если он используется (см. 5.2).

c) Если используется оптический аттенюатор, считывают только амплитуды отображаемых импульсов, как указано в перечислении a) 6.1.1.

d) Регистрируют импульс на входе в систему, используя ту же частоту развертки осциллографа, что и для испытуемого образца, и рассчитывают преобразование Фурье входного импульса в соответствии с приложением B.

6.1.3 Метод A-2. Измерение входного импульса: периодический эталонный образец

a) Следующую процедуру калибрования системы с использованием периодического эталонного образца проводят в основном на таком же временном интервале, что и для определения SSFL (см. 4.6). Во многих случаях, когда проведены соответствующая подготовка фильтра мод, лазерного диода и выравнивание оборудования, допускают использование эталонного образца, который не был отнят от испытуемого образца.

b) Подготавливают входной и выходной концы в соответствии с 5.3 на эталонном образце того же типа волокна и с теми же номинальными оптическими размерами, что и испытуемый образец.

c) Входной и выходной концы располагают на одной линии как указано в 5.5 и, если используется оптический аттенюатор, настраивают его для получения истинного отображаемого значения амплитуды импульса.

d) Регистрируют импульс на входе в систему, используя ту же частоту развертки осциллографа, что и для испытуемого образца, и рассчитывают преобразование Фурье входного импульса в соответствии с приложением B.

6.2 Метод B. Измерение в частотной области

6.2.1 Частотная характеристика на выходе волокна

a) Изменяют частоту модуляции источника излучения f от низкой частоты (для указания эталонного уровня мощности сигнала при нулевой частоте) до высокой частоты, превышающей частоту для ширины полосы при 3 дБ. Регистрируют относительную оптическую мощность, возбуждающую испытуемый образец, как функцию от f; обозначают данную мощность как $P_{out}(f)$. Для применения анализатора сети и получения импульсной характеристики значение высокой частоты должно превышать точку минус 15 дБ. Регистрируют значение фазы $\varphi_{out}(f)$.

Примечание — Значения функции, имеющей отношение к $P_{out}(f)$, например $\log P_{out}(f)$, могут быть зарегистрированы до окончательного получения $|H(f)|$ в 7.1.

b) Определяют модулированный сигнал на входе испытуемого образца методом измерения сигнала, возбуждающего эталонный отрезок волокна. Этого достигают, используя эталонный отрезок, отнятый от испытуемого образца (метод B-1; предпочтительный метод для использования в случае противоречивости результатов испытания) или отнятый от аналогичного волокна (метод B-2).

6.2.2 Метод B-1. Эталонный отрезок, отнимаемый от испытуемого образца

a) Испытуемое волокно разрезают вблизи входного конца и подготавливают плоские торцевые поверхности (см. 5.3) этого вновь созданного выходного конца. Если требуется, отфильтровывают оболочечные моды в выходном конце. Не вносят никаких помех условиям возбуждения в этом коротком отрезке.

b) Изменяют частоту модуляции источника излучения f от низкой частоты (для указания эталонного уровня мощности сигнала при нулевой частоте) до высокой частоты, превышающей частоту для ширины полосы при 3 дБ. Регистрируют относительную оптическую мощность, возбуждающую испытуемый образец, как функцию от f; обозначают данную мощность как $P_{in}(f)$.

6.2.3 Метод B-2. Эталонный отрезок, отнимаемый от аналогичного волокна

a) При наличии оборудования, позволяющего располагать волокно в том же положении на выходе смесителя мод, в котором находился входной конец испытуемого образца, другой короткий отрезок волокна, имеющий с испытуемым волокном одинаковые номинальные свойства, может быть использован в качестве эталонного. Эталонное волокно используют для замены испытуемого образца. Если требуется, используют фильтр оболочечных мод и располагают выходной конец волокна на одной линии перед детектором.

b) Изменяют частоту модуляции источника излучения f от низкой частоты (для указания эталонного уровня мощности сигнала при нулевой частоте) до высокой частоты, превышающей частоту для ширины полосы при 3 дБ. Регистрируют относительную оптическую мощность, возбуждающую испытуемый образец, как функцию от f; обозначают данную мощность как $P_{in}(f)$.

Примечание — Значения функции, имеющей отношение к $P_{in}(f)$, например $\log P_{in}(f)$, могут быть зарегистрированы до окончательного получения $|H(f)|$ в 7.2.

6.3 Метод С. Модовая ширина полосы при насыщающем возбуждении, рассчитанная из дифференциальной модовой задержки (OMBc)

a) Измеряют дифференциальную модовую задержку волокна в соответствии с МЭК 60793-1-49.

b) Рассчитывают модовую ширину полосы при насыщающем возбуждении в соответствии с формулами B2 МЭК 60793-1-49, используя весовые коэффициенты, указанные в настоящем стандарте в таблице 1. Линейную интерполяцию значений весовых коэффициентов применяют для любого радиального положения действительного сканирования, которое лежит между позициями, представленными целыми числами, указанными в таблице 1.

Примечание — Весовые коэффициенты в таблице 1 применимы только для волокон типа A1a при длине волны 850 нм.

Таблица 1 – Весовые коэффициенты дифференциальной модовой задержки (DMD) для расчета модовой ширины полосы при насыщающем возбуждении (OMBc), полученные из значений DMD только для длины волны 850 нм

r, мкм	Весовые коэффициенты DMD для OMBc
0	0
1	0,00073
2	0,00157
3	0,00253
4	0,00362
5	0,00487
6	0,00631
7	0,00795
8	0,00983
9	0,01198
10	0,01443
11	0,01725
12	0,02046
13	0,02414
14	0,02836
15	0,03317
16	0,03869
17	0,04500
18	0,05221
19	0,06047
20	0,06992
21	0,08073
22	0,09310
23	0,10725
24	0,12345
25	0,14197

7 Расчеты или представление результатов

7.1 Частота по уровню минус 3дБ , $f_{3\,dB}$

Рассчитывают частотную характеристику $H(f)$. Рассчитывают ширину полосы по уровню минус 3 дБ, $f_{3\,dB}$, в соответствии с приложением B.

Если значение измеренной частоты по уровню минус 3 дБ превышает значение NIDL (как рассчитано в 4.1.4), деленное на длину волокна L, км, в отчете указывают полученный при измерении результат. В этом случае предпочтительно показать, что результат измерений может быть ограничен составом оборудования, как указано в примере 1.

Примеры

1 Волокно длиной 2,2 км имеет нормированное по длине волокна измеренное по уровню минус 3 дБ значение частоты 2,2 ГГц·км, но измерительная система имеет значение NIDL 2 ГГц·км при данной длине волны. Предпочтительно, чтобы результат был указан в отчете в виде «> нормированное измеренное значение» («> 2,2 ГГц·км», в данном примере). Аналогично, действительное измеренное значение предпочтительно указывать в отчете в виде «> {измеренное значение}» («> 1,0 ГГц», в данном примере). Знак «>» указывает на то, что измеренное значение может быть ограничено комплектом испытательного оборудования. Если измеренное значение частоты по уровню минус 3 дБ превышает значение SSFL (как указано в 4.6), в отчете приводят результат как большее значение, чем значение SSFL, как указано в примере 2.

2 Волокно длиной 2,2 км имеет измеренное значение частоты по уровню минус 3 дБ 0,95 ГГц (2,09 ГГц·км), которое больше значения SSFL для данного комплекта испытательного оборудования 0,9 ГГц (1,98 ГГц·км для данной длины волокна). В отчет вносят результат в виде «> (SSFL)» (в данном случае, «> 0,9 ГГц»). В отчет вносят результат, нормированный по длине, в виде «> (значение SSFL, умноженное на длину образца, км» («> 1,98 ГГц·км», в данном случае). Знак «>» требуется для указания того, что измеренное значение ограничено комплектом испытательного оборудования.

7.2 Расчеты для выборочных методов отчета

В технических условиях на волокно/кабель вместо $f_{3\ dB}$ могут потребоваться другие характеристики для отчета (см. соответствующее приложение):

B.1: передаточная функция волокна $H(f)$;

B.2: спектр мощности $|H(f)|$;

C.1: импульсная характеристика волокна $h(t)$;

C.2: среднеквадратичная (RMS) импульсная характеристика, точный метод;

C.3: среднеквадратичная (RMS) импульсная характеристика, метод аппроксимации разности квадратов.

8 Нормирование по длине

В некоторых случаях желательно нормировать ширину полосы или уширение импульса по единице длины, например, ГГц·км или нс/км. Если ширина полосы или уширение импульса нормировано по единице длины, то используемую формулу зависимости от длины указывают в отчете.

9 Результаты

9.1 Информация, получаемая по каждому измерению

По каждому измерению в отчете указывают следующую информацию:

- номер методики испытания и используемый метод испытания;
- используемые условия возбуждения (RML или OFL, DMD);
- дату проведения испытания;
- систему идентификации испытуемого образца;
- результаты испытания: $f_{3\ dB}$ (7.1) или другие характеристики (7.2), как требуется в подробной спецификации на волокно;
- длину волны источника возбуждения (номинальную или действительную);
- длину образца;
- формулу нормирования по длине, если оно применяется.

9.2 Информация, предоставляемая по требованию

По требованию предоставляют следующую информацию:

- источник возбуждения: тип, действительная длина волны источника, максимальная нормированная или действительная ширина спектра (FWHM) – установленное значение, если отсутствует измеренное значение;

- описание смесителя мод и оборудования возбуждения;
- предел нормированной межмодовой дисперсии (NIDL) для каждого измеренного значения длины волны;
- тип и условия эксплуатации детектора;
- подробное описание процедуры вычислений при расчете ширины полосы или других характеристик;
- метод фильтрования света в оболочке волокна;
- дату последней калибровки испытательного оборудования;
- наименование испытания;
- персонал, участвующий в испытании.

10 Информация в подробной спецификации на волокно

В подробной спецификации на волокно указывают следующую информацию:
- количество и тип образцов, подлежащих испытанию;
- номер методики проведения испытания;
- используемый метод отчета при отличии от указанного в 7.1;
- испытательную длину волны (длины волн).

Приложение А
(обязательное)

Коэффициент внутримодовой дисперсии и нормированный предел межмодовой дисперсии

А.1 Коэффициент внутримодовой дисперсии, IDF

Данный метод испытаний используют для измерения модовой ширины полосы волокна. Однако дополнительная дисперсия, вызванная взаимодействием спектра лазера с хроматической дисперсией в волокне, может привести к уменьшению измеренного значения. Цель применения IDF заключается в ограничении погрешности данного источника возбуждения, используемого при измерении. IDF измеряют в ГГц·км·нм. IDF представляет собой частоту, при которой измеренное значение ширины полосы падает до 90 % межмодовой ширины полосы на нанометр ширины спектральной линии источника на километр длины волокна. Вывод формулы для расчета значения IDF указан в А.3. В таблице А.1 представлены наибольшие ожидаемые значения дисперсии для всех волокон категории А1, имеющихся в продаже, на основе номинальных характеристик дисперсии. Для табличных данных, меньших 1200 нм, дисперсия принимает наибольшее значение для волокна с максимальным значением λ_0 (волокно с 0,29 NA). Для табличных данных, больших 1400 нм, дисперсия принимает наибольшее значение для волокна с минимальным значением λ_0 (волокно с 0,20 NA). Здесь λ_0 – это длина волны с нулевой дисперсией. IDF не используют между 1200 и 1400 нм.

Т а б л и ц а А.1 – Наибольшие ожидаемые значения дисперсии для оптических волокон категории А1, имеющихся в продаже

λ, нм	IDF, ГГц·км·нм	λ, нм	IDF, ГГц·км·нм	λ, нм	IDF, ГГц·км·нм
780	1,31				
790	1,37				
800	1,44	1000	3,54	1400	23,18
810	1,50	1010	3,71	1410	21,15
820	1,57	1020	3,90	1420	19,49
830	1,64	1030	4,09	1430	18,09
840	1,72	1040	4,30	1440	16,90
850	1,79	1050	4,52	1450	15,87
860	1,88	1060	4,76	1460	14,98
870	1,96	1070	5,02	1470	14,20
880	2,05	1080	5,30	1480	13,50
890	2,14	1090	5,60	1490	12,89
900	2,24	1100	5,92	1500	12,33
910	2,34	1110	6,27	1510	11,83
920	2,45	1120	6,65	1520	11,37
930	2,56	1130	7,07	1530	10,96
940	2,68	1140	7,53	1540	10,58
950	2,80	1150	8,03	1550	10,23
960	2,93	1160	8,59	1560	9,91
970	3,07	1170	9,22	1570	9,61
980	3,22	1180	9,92	1580	9,34
990	3,37	1190	10,71	1590	9,08
				1600	8,84

П р и м е ч а н и е — Используемые допущения: S_0 = 0,09562 пс/(нм^2·км); λ_0=1344,5 нм для номинального значения MMF w/0,29 NA.

А.2 Нормированный предел межмодовой дисперсии, NIDL

Максимальная ширина полосы, которая может быть указана в отчете вместе с комплектом испытательного оборудования, ограничивается нормированным пределом межмодовой дисперсии (NIDL). NIDL рассчитывают для каждой длины волны, при которой проводят измерения, комплекта испытательного оборудования в соответствии с 4.1.4, используя значения IDF, взятые из таблицы А.1. Ширина спектра источника, используемая при расчете, может принимать либо максимальное значение для устройства, как указано изготовителем устройства, либо, что предпочтительно, измеренное значение.

Вследствие того, что NIDL основан на IDF, измеренное, нормированное по длине значение ширины полосы, равное NIDL, на 10 % меньше действительного значения межмодовой ширины полосы. Погрешность уменьшается для измеренных значений ширины полосы, меньших NIDL, и быстро увеличивается для значений, превышающих NIDL. Действительная погрешность, как правило, на несколько процентов меньше данного значения вследствие того, что действительная дисперсия испытуемого образца меньше значения дисперсии, используемого в IDF, и спектральная ширина источника может быть преувеличена. Вследствие данных допущений и спектральной нестабильности источника поправку на хроматическую дисперсию не вносят.

NIDL не определен для длин волн в диапазоне 1200–1400 нм, так как межмодовая дисперсия при измерениях на волокне пренебрежительно мала при использовании лазеров в данном диапазоне длин волн.

Примечание — Расчеты в таблице А.1 основаны на предположении, что спектр имеет Гауссовое распределение. Если это предположение не верно, то при интерпретации данных в таблице следует проявлять некоторую осторожность.

А.3 Вывод формулы для расчета значения IDF

Для вывода формулы для расчета значения IDF предполагают, что следующие параметры имеют Гауссовое распределение:

1) хроматическое и модальное временное уширение импульса, D_{chrom} и D_{modal}, соответственно;

2) все частотные характеристики (амплитуды);

3) оптический спектр источника, представленный в виде $\Delta\lambda_s$ (FWHM),нм.

Отношение между дисперсией и шириной полосы выражают формулой

$$D = \frac{k}{BW}, \tag{А.1}$$

где k = 187 для среднеквадратичного значения дисперсии (RMS), пс, и ширины полосы по уровню минус 3 дБ, ГГц. В предположении, что хроматическая и модовая дисперсии не зависят друг от друга, общая (измеренная) дисперсия, D_{meas}, может быть представлена в виде

$$D_{meas} = \sqrt{D_{chrom}^2 + D_{modal}^2}. \tag{А.2}$$

Объединяя выражения (А.1) и (А.2), получают следующее выражение

$$\left[\frac{BW_{meas}^2}{BW_{chrom}^2}\right] + \left[\frac{BW_{meas}^2}{BW_{modal}^2}\right] = 1. \tag{А.3}$$

В предположение, что ε представляет собой погрешность измерений, вызванную хроматической дисперсией, получают выражение

$$BW_{meas} = (1 - \varepsilon)\, BW_{modal}. \tag{А.4}$$

Хроматическая ширина полосы, ГГц, может быть рассчитана по формуле

$$BW_{chrom} = \frac{440}{D(\lambda) L \Delta\lambda_s}, \tag{А.5}$$

где $D(\lambda)$ – это коэффициент хроматической дисперсии в волокне, пс/(нм·км), при длине волны λ. $D(\lambda)$ определен в МЭК 60793-1-42;

L – длина волокна, км.

Объединяя выражения (А.3), (А.4) и (А.5), получают выражение для определения IDF, ГГц·км·нм,

$$\text{IDF} = BW_{meas} L \Delta\lambda_s = \frac{440\sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2}}{D(\lambda)}. \tag{А.6}$$

В конкретном случае для ε = 0,1 (погрешность 10 %),

$$\text{IDF} = \frac{192}{D(\lambda)}, \tag{А.7}$$

для $D(\lambda)$, измеряемого в пс/(нм·км).

Приложение В
(обязательное)

Передаточная функция волокна $H(f)$, спектр мощности $|H(f)|$ и $f_{3\,dB}$

В.1 Передаточная функция волокна

В.1.1 Метод А. Измерение во временной области (искажение импульса)

Измерение во временной области начинают с входного импульса $a(t)$ и выходного импульса $b(t)$. Преобразования Фурье входного импульса и импульса на выходе волокна рассчитывают с использованием следующих формул:

$$A(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t)e^{-j2\pi ft}dt\ ; \tag{В.1}$$

$$B(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} b(t)e^{-j2\pi ft}dt\ , \tag{В.2}$$

где $a(t)$ – входной импульс во временной зоне;

$b(t)$ – выходной импульс во временной зоне;

$A(f)$ – преобразование Фурье входного импульса;

$B(f)$ – преобразование Фурье импульса на выходе волокна.

Для метода расчета во временной области передаточную функцию волокна рассчитывают по формуле

$$H\ (f) = \frac{B(f)}{A(f)}\ . \tag{В.3}$$

Примечание — $A(f)$, $B(f)$ и $H(f)$ – векторы сложных чисел, как правило, выражаемые в виде действительных или мнимых пар.

В.1.2 Метод В. Измерение в частотной области

При использовании сетевого анализатора или эквивалентного оборудования для измерения фазы передаточную функцию рассчитывают следующим образом:

$$A(f) = P_{in}(f)\cdot[\cos(\varphi_{in}(f)) + i\sin((\varphi_{in}(f))]\ ; \tag{В.4}$$

$$B(f) = P_{out}(f)\cdot[\cos(\varphi_{out}(f)) + i\sin((\varphi_{out}(f))]\ ; \tag{В.5}$$

$$H(f) = \frac{B(f)}{A(f)}\ , \tag{В.6}$$

где $A(f)$, $B(f)$, $H(f)$ указаны в В.1.1.

В.2 Спектр мощности

В.2.1 Метод А. Измерение во временной области (искажение импульса)

Из результатов измерения во временной области (искажения импульса) частотную характеристику $|H(f)|$, дБ, рассчитывают по формуле

$$|H(f)| = 10Re g_{10}\left[\sqrt{\mathrm{Re}(H(f))^2 + \mathrm{Im}(H(f))^2}\right] - 10\,\mathrm{L}cRe_{)}\left[\mathrm{Re}(H(0))\right], \tag{В.7}$$

где $Re(x)$, $Im(x)$ – действительная и мнимая части комплексного числа x и вычитание значения при нулевой частоте позволяет нормировать спектр мощности таким образом, чтобы он на нулевой частоте принимал значение 0 дБ.

В.2.2 Метод В. Измерение в частотной области

При использовании метода измерения в частотной области частотная характеристика $|H(f)|$, дБ, может быть рассчитана по упрощенной формуле

$$|H(f)| = 10\ \mathrm{Log}_{10}\left[\frac{P_{out;}(f)}{P_{in}(f)}\right] - 10\ \mathrm{Log}_{10}\left[\frac{P_{out;}(0)}{P_{in}(0)}\right], \tag{В.8}$$

где $P_{in}(f)$ – частотная характеристика на входе волокна, измеренная в 6.2.2;

$P_{out}(f)$ – частотная характеристика на выходе волокна, измеренная в 6.2.1, и вычитание значения при нулевой частоте позволяет нормировать спектр мощности таким образом, чтобы он на нулевой частоте принимал значение 0 дБ.

В.2.3 Частота на уровне минус 3 дБ

Частоту на уровне минус 3 дБ (оптической мощности) $f_{3\,dB}$ определяют как наименьшую частоту, при которой $|H(f)| = -3$ дБ. Для определения $f_{3\,dB}$ используют интерполяцию.

Приложение С
(обязательное)

Расчеты для других методов отчета

С.1 Импульсная характеристика волокна $h(t)$

Импульсную характеристику испытуемого волокна $h(t)$ рассчитывают по формуле

$$h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(f)e^{j2\pi ft}df \ , \qquad (C.1)$$

где $H(f)$ – комплексная передаточная функция волокна (см. приложение В).

Для высоких частот функция $H(f)$ будет иметь низкое значение отношения сигнал/шум, если требования по наложению спектров соблюдены в достаточной мере при получении данных. Для получения достаточно низкого значения импульсной характеристики требуется отфильтровывать (т.е. ослаблять) данный высокочастотный шум. Любой применяемый фильтр не должен значительно искажать импульсную характеристику и поэтому должен подавлять высокие частоты до уровня не ниже минус 15 дБ передаточной функции волокна.

Примечание — Для проведения данных расчетов при измерениях в частотной области, метод В, также получают информацию о фазе сигнала для точных расчетов импульсной характеристики. Для этого вместо электрического анализатора спектра может быть использован электрический анализатор сети.

С.2 Среднеквадратичное значение импульсной характеристики, точный метод

Среднеквадратичное значение уширения импульса рассчитывают из импульсной характеристики испытуемого волокна $h(t)$ (см. С.1) по следующей формуле

$$\sigma_{rms} = \sqrt{C_2^2 - C_1^2} \qquad (C.2)$$

$$\text{при } C_n = \int_0^{+\infty} t^n h(t)dt \ , \qquad (C.3)$$

где n = 0, 1, 2, ...

С.3 Среднеквадратичное значение импульсной характеристики, приближенное значение разности квадратов

Среднеквадратичное значение импульсной характеристики рассчитывают на основе разности среднеквадратичных значений входного и выходного импульсов по формуле

$$\sigma_{r.m.s.} = \sqrt{\sigma_{B_i}^2 - \sigma_A^2} \ , \qquad (C.4)$$

где σ_B – среднеквадратичное значение ширины импульса на выходе волокна;

σ_A – среднеквадратичное значение ширины входного импульса.

σ_A и σ_B рассчитывают в соответствии с уравнением, указанным в С.2, где

$h(t)$ заменяют на $a(t)$ и $b(t)$ для σ_A и σ_B соответственно.

Приложение D
(обязательное)

Требования к смесителю мод для условий насыщающего возбуждения для многомодовых волокон

D.1 Введение

Данная методика описывает условия светового возбуждения в испытуемом волокне с целью получить однородное насыщающее возбуждение при использовании лазерного диода или другого источника света. Условия светового возбуждения создают посредством использования смесителя мод. Смеситель мод располагают между источником света и испытуемым волокном в целях распределения излучения, насыщающего сердцевину испытуемого волокна и числовую апертуру независимо от свойств излучения в пространстве источника света.

Однако для многих конструкций смесителя мод порождаемые ими условия возбуждения зависят от точности выравнивания по одной линии источника и смесителя мод и взаимодействия с какими-либо оптическими устройствами, например соединителями и системами формирования оптического изображения. Если источник света или какой-либо компонент оптической системы заменяют, то квалификационные испытания повторяют. При измерениях информационной пропускной способности насыщающее возбуждение позволяет достичь хорошей воспроизводимости результатов измерений, оно не гарантирует получения наиболее точного прогнозируемого значения ширины полосы для соединенных отрезков. Также, какая-либо определенная комбинация источника света и смесителя мод может быть удовлетворительной для одного диаметра сердцевины и числовой апертуры испытуемого волокна, но не для другой.

D.2 Оборудование

D.2.1 Источник света

Используют источник света, например лазерный диод.

D.2.2 Смеситель мод

D.2.2.1 Общие положения

«Смеситель мод» – устройство, которое располагают между источником света и испытуемым волокном для управления условиями возбуждения. Какая-либо определенная конструкция смесителя мод не установлена. Следует подчеркнуть, что характеристики данных смесителей мод зависят от оптики возбуждения и размеров волокна [сердцевина и числовая апертура (NA)], используемых в данной конструкции.

Пример — Две схемы на рисунке D.1 приведены только в качестве поясняющего примера. Также могут быть применены и другие схемы.

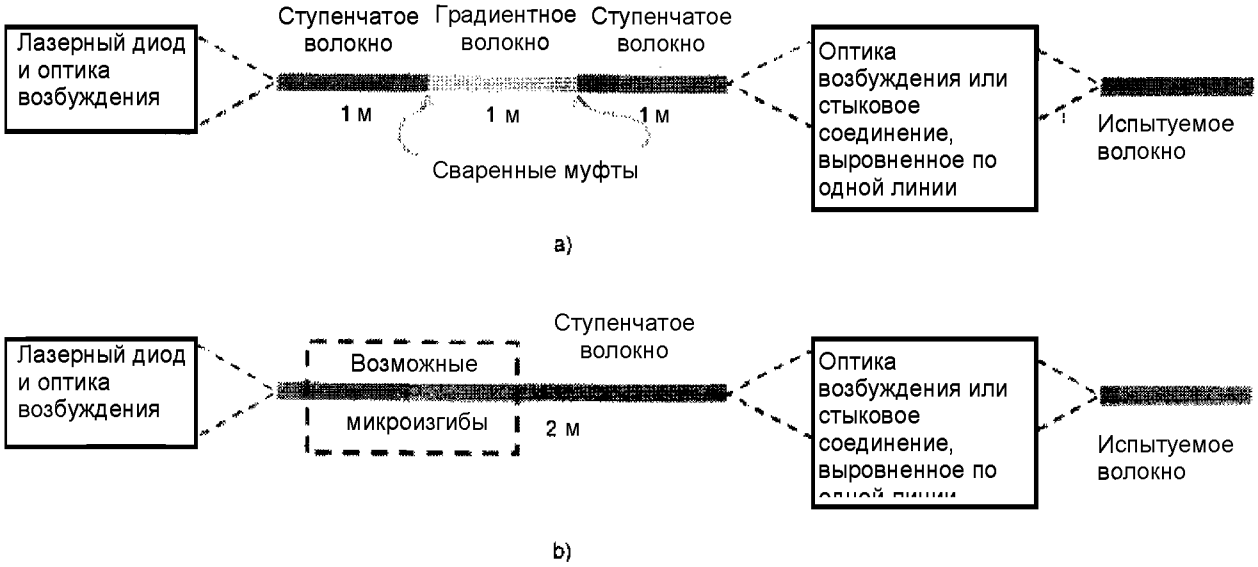

Рисунок D.1 – Два примера смесителей мод оптического волокна

D.2.2.2 Ступенчатое-градиентное-ступенчатое волокно

Смеситель мод на рисунке D.1 а) представляет собой комбинацию последовательно сращенных отрезков ступенчатого, градиентного и ступенчатого волокна длиной 1 м каждый отрезок. Информация, касающаяся изготовления смесителей мод в соответствии со схемой, содержащей отрезки ступенчатого-градиентного-ступенчатого волокна, указана в ссылочных документах [5] и [6].

D.2.2.3 Ступенчатое волокно с изгибами

В смесителе мод на рисунке D.1 b) используется один отрезок ступенчатого волокна. Более подробная информация, касающаяся изготовления смесителей мод на основе ступенчатого волокна, указана в ссылочных документах [7] и [8]. В некоторых случаях макроскопические, змеевидные изгибы или намотка ступенчатого волокна несколькими витками вокруг оправки делает смеситель мод менее чувствительным к выравниванию лазерного диода.

D.2.2.4 Испытательное оборудование для квалификации смесителя мод

Для квалификации смесителя мод необходимо измерить диаграмму излучения в ближнем и дальнем поле на выходе смесителя мод, соединенного с источником света, указанным в D.2.1. Соответствующее испытательное оборудование указано в МЭК 60793-1-20 и МЭК 60793-1-43. Если квалификационные испытания проводят на основе отображения сигнала на выходе смесителя мод, то соответствующее испытательное оборудование может отличаться от указанного в МЭК 60793-1-20 и МЭК 60793-1-43.

D.2.2.5 Устройство/оптика точного позиционирования

Необходимо использовать оборудование для передачи света из смесителя мод в испытуемое волокно. Это может быть устройство точного позиционирования вместе с оптикой для отображения сигнала с выхода смесителя мод на входной конец испытуемого волокна. Пространственное разрешение и стабильность позиционирования должны быть достаточно высокими для обеспечения стабильных условий передачи света. С другой стороны, допускается использовать временную муфту для соединения встык выходного конца смесителя мод и входного конца испытуемого волокна.

D.2.3 Фильтры оболочечных мод

Если смеситель мод применяют в конструкциях с измеренным затуханием в волокне, то с испытуемым волокном используют фильтр оболочечных мод, кроме случаев, когда буферное покрытие волокна позволяет отфильтровывать оболочечные моды.

D.3 Отбор и подготовка образцов

Испытуемый образец состоит из оптического источника и смесителя мод. В состав испытуемого образца также входят устройства позиционирования, дополнительная оптика, например соединители и системы оптического отображения, и волокно, используемое в измерительной системе.

D.4 Проведение испытания

D.4.1 Квалификация смесителя мод

D.4.1.1 Общие положения

Смеситель мод, независимо от конструкции, должен обеспечивать стабильность условий возбуждения, указанных в D.4.1.2, D.4.1.3 и D.4.1.4, в испытуемом волокне. Если условия возбуждения в испытуемом волокне остаются достаточно стабильными, чтобы соответствовать требуемым условиям возбуждения для всех последующих измерений, то отсутствует необходимость проводить квалификационные испытания при данном измерении, а также при каждом измерении при использовании смесителя мод. Такая стабильность достигается, например, постоянным или временным соединением источника света со смесителем мод. Однако для многих конструкций смесителя мод создаваемые условия возбуждения зависят от точности выравнивания источника света и смесителя мод и взаимодействия с какими-либо промежуточными оптическими устройствами, например соединителями или системами оптического отображения. При замене источника света или какого-либо компонента оптической системы квалификационные испытания повторяют.

D.4.1.2 Световое пятно, возбуждающее испытуемое волокно

При соединении источника света с волокном смесителя мод диаграмма излучения ближнего поля, возбуждающая сердцевину испытуемого волокна, должна различаться менее чем на 25 % по поперечному сечению оболочки испытуемого волокна. Следует избегать появления спекл-структур. Если диаметр сердцевины испытуемого волокна неизвестен, его определяют в соответствии с МЭК 60793-1-20. Если смеситель мод соединен непосредственно с испытуемым волокном, то измеряют диаграмму излучения в ближнем поле, которое вызывает возбуждение сердцевины испытуемого волокна. Если сигнал с выхода смесителя мод оптически отображается на входной конец испытуемого волокна, то распределение возбуждаемого излучения ближнего поля определяют и сопоставляют с ближнем полем, указанным в МЭК 60793-1-20.

D.4.1.3 Угол ввода излучения при возбуждении испытуемого волокна

При соединении источника света с волокном смесителя мод измеряют угловое распределение интенсивности излучения, которое возбуждает испытуемое волокно. Числовая апертура возбуждения, определяемая как синус половины угла, при котором угловая интенсивность возбуждаемого излучения уменьшается до 5 % максимального значения, должна превышать значение 5 % числовой апертуры испытуемого волокна. Если значение, равное 5 % числовой апертуры испытуемого волокна, неизвестно, то его определяют по одной из методик, указанных в МЭК 60793-1-43. Если смеситель мод соединен непосредственно с испытуемым волокном, то угловое распределение интенсивности излучения от волокна смесителя мод, которое вызывает возбуждение сердцевины испытуемого волокна, измеряют в соответствии с МЭК 60793-1-43. Если сигнал с выхода смесителя мод оптиче-

ски отображается на входной конец испытуемого волокна, то угловое распределение интенсивности возбуждаемого излучения определяют и сопоставляют с дальнем полем, указанным в МЭК 60793-1-43.

D.4.1.4 Дополнительные требования к возбуждению при использовании ограниченных измерений

D.4.1.4.1 Обзор

Для достижения действительно однородного распределения возбуждения проводят одно из следующих, дополнительных к измерениям по D.4.1.2 и D.4.1.3, испытаний при соответствии его установленным требованиям. Проводят повторное измерение ближнего поля при ограничении дальнего поля, возбуждающего смеситель мод (D.4.1.4.2), или повторное измерение дальнего поля при ограничении ближнего поля, возбуждающего смеситель мод (D.4.1.4.3).

D.4.1.4.2 Измерения ближнего поля при ограничении дальнего поля

Требования, указанные в D.4.1.2 (световое пятно, возбуждающее испытуемое волокно), должны быть выполнены в случае, когда числовая апертура (NA), возбуждаемая смесителем мод (т.е. угол возбуждения), уменьшается более чем на 50 %. Соответствующий метод испытания в данном случае – это использование стандартного одномодового волокна, которое имеет значение NA приблизительно равное 0,1; это меньше половины значения NA смесителя мод, используемого при испытании, которое, как правило, равно 0,3. Дополнительное измерение ближнего поля проводят методом сканирования одномодового волокна через выход смесителя мод для подтверждения того, что ближнее поле все еще соответствует требованиям D.4.1.2.

D.4.1.4.3 Измерения дальнего поля при ограничении ближнего поля

Требования, указанные в D.4.1.3 (угол ввода излучения при возбуждении испытуемого волокна), должны быть выполнены в случае, когда пространственная область, возбуждаемая смесителем мод (размер пятна), уменьшается более чем на 50 %. Соответствующий метод испытания в данном случае – это использование NA, расположенной в плоскости отображения сигнала на выходе смесителя мод. Дополнительное измерение дальнего поля проводят при значении NA, ограничивающем размер отображенного сигнала, для подтверждения того, что дальнее поле все еще соответствует требованиям D.4.1.3.

D.4.2 Центровка испытуемого волокна с выходным концом смесителя мод

D.4.2.1 Общие положения

Если квалификационные испытания, указанные в D.4.1, были проведены с использованием отображения сигнала на выходе смесителя мод, для центровки применяют метод А. Если испытания были проведены с использованием непосредственно сигнала на выходе смесителя мод, для центровки применяют методы В или С.

D.4.2.2 Метод А. Оптика отображения сигнала

Если оптику возбуждения используют для отображения светового сигнала на выходе смесителя мод на испытуемое волокно (рисунок D.1), то для центровки сердцевины испытуемого волокна на отображении сигнала на выходе смесителя мод применяют методику с использованием устройств точного позиционирования и линз. Квалификационные испытания для смесителя мод должны включать в себя испытания, учитывающие все воздействия оптики отображения сигнала, например угловые увеличения при отображении и возбуждении сигнала. В случае противоречивости результатов испытаний предпочтительно применять данный метод или нижеследующий метод В.

D.4.2.3 Метод В. Съемная муфта

Если оптику возбуждения не используют, то соединять выходной конец смесителя мод и испытуемое волокно допускается с помощью временной муфты, которая позволяет центрировать смеситель мод с сердцевиной испытуемого волокна и обеспечивает плотный контакт торцевых поверхностей. В данном случае диаметр сердцевины волокна смесителя мод должен быть не менее диаметра сердцевины испытуемого волокна.

D.4.2.4 Метод С. Соединение встык

Если оптику возбуждения не используют и испытуемое волокно соединяют встык с выходным концом смесителя мод, то испытуемое волокно перемещают в плоскости, перпендикулярной к оси волокна, для достижения максимального значения передаваемой мощности.

D.4.3 Испытание по измерению характеристик волокна

После проведения квалификации смесителя мод и соединения выходного конца смесителя мод с испытуемым волокном по методу А, В или С может быть начато проведение испытания по измерению характеристик волокна.

D.5 Расчеты или интерпретация результатов

При квалификации смесителя мод применяют критерий приемки и браковки, приведенный в предыдущих разделах. Проведение дальнейших расчетов не требуется.

D.6 Результаты

D.6.1 Информация, представляемая по каждому измерению

По каждому измерению в отчете представляют следующую информацию:

- дату проведения испытания;
- обозначение используемой методики;
- обозначение образца;
- метод центровки смесителя мод: метод A, B или C;
- длину волны источника излучения, используемого при измерении.

D.6.2 Информация, представляемая по запросу

По запросу представляют следующую информацию:

- подробное описание смесителя мод и источника света;
- данные, демонстрирующие однородность возбуждающего светового пятна по всей сердцевине испытуемого волокна и равенство значения числовой апертуры возбуждения соответствующему значению испытуемого волокна, которые подтверждают квалификацию смесителя мод;
- фамилию (фамилии) персонала, проводившего испытание;
- испытательное оборудование и дату его последней калибровки.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60793-1-20	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-20—2012 «Волокна оптические. Часть 1-20. Методы измерений и проведение испытаний. Геометрия волокна»
МЭК 60793-1-42	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-42—2013 «Волокна оптические. Часть 1-42. Методы измерений и проведение испытаний. Хроматическая дисперсия»
МЭК 60793-1-43	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-43—2013 «Волокна оптические. Часть 1-43. Методы измерений и проведение испытаний. Числовая апертура»
МЭК 60793-1-49:2006	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в ОАО «ВНИИКП».

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

- IDT – идентичные стандарты.

Библиография

[1]	МЭК 60793-2-10 Волокна оптические. Часть 2-10. Технические условия на изделие. Групповые технические условия на многомодовые волокна категории А1
[2]	(IEC 60793-2-10) (Optical fibres – Part 2-10: Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres)
[3]	МЭК 60793-2-30 Волокна оптические. Часть 2-30. Технические условия на изделие. Групповые технические условия на многомодовые волокна категории А3
[4]	(IEC 60793-2-30) (Optical fibres – Part 2-30: Product specifications – Sectional specification for category A3 multimode fibres)
[5]	МЭК 60793-2-40 Волокна оптические. Часть 2-40. Технические условия на изделие. Групповые технические условия на многомодовые волокна категории А4
[6]	(IEC 60793-2-40) (Optical fibres – Part 2-40: Product specifications – Sectional specification for category A4 multimode fibres)
[7]	M. HORIGUCHI, Y. OHMORL, H. TAKATA, *Profile Dispersion Characteristics in High-Bandwidth Graded-Index Fibres*, Applied Optics_Vol. 19, No 18, p. 3 159, 15 Sept. 1980
[8]	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
[9]	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
[10]	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
[11]	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

ОКС 33.180.10 Э59 ОКП 63 6570

УДК 681.7.068:006.354

Ключевые слова: волокна оптические, ширина полосы пропускания, испытательное оборудование, методы испытаний, обработка результатов

Подписано в печать 01.04.2014. Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 2,79. Тираж 31 экз. Зак. 1092

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»,

123995 Москва, Гранатный пер., 4.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru