ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 60793-1-49— 2014

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-49
Методы измерений и проведение испытаний. Дифференциальная задержка мод

IEC 60793-1-49:2006

Optical fibres– Part 1-49:
Measurement methods and test procedures — Differential mode delay

(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2015

Предисловие

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 18 сентября 2014 г. № 1116-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60793-1-49 (2006) «Волокна оптические. Часть 1-49. Методы измерений и проведение испытаний. Дифференциальная модовая задержка» (IEC 60793-1-49:2006 «Optical fibres — Part 1-49: Measurement methods and test procedures — Differential mode delay»).

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

6 Некоторые положения международного стандарта, указанного в пункте 4, могут являться объектами патентных прав. Международная электротехническая комиссия (МЭК) не несет ответственности за идентификацию подобных патентных прав

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—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 информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

© Стандартинформ, 2015

В Российской Федерации 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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 2
4 Оборудование 2
4.1 Оптический источник 2
4.2 Устойчивость образца 3
4.3 Система ввода излучения 3
4.4 Система детектирования 3
4.5 Вычислительное оборудование 4
5 Отбор и подготовка образцов 4
5.1 Испытуемый образец 4
5.2 Торцевые поверхности образца 4
5.3 Длина образца 4
5.4 Установка образца 4
5.5 Позиционирование образца 4
6 Проведение испытания 5
6.1 Настройка и измерение отклика системы 5
6.2 Настройка системы детектирования 5
6.3 Измерение на испытуемом образце 5
7 Расчеты и интерпретация результатов 6
7.1 Дифференциальная задержка мод (DMD) 6
7.2 Минимальное расчетное значение эффективной модовой ширины полосы пропускания 6
7.3 Нормирование длины 8
8 Документация 8
9 Информация в технических условиях 8
Приложение А (справочное) Ограничение ширины спектра источника 9
Приложение В (справочное) Обсуждение подробностей измерения 12
Приложение С (справочное) Определение весовых коэффициентов DMD для расчета EMBc 15
Приложение D (справочное) Информация по расчету EMBc 17
Приложение Е (справочное) Сравнение между настоящим стандартом и рекомендациями Международного союза электросвязи 20
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации 21
Библиография 22

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВОЛОКНА ОПТИЧЕСКИЕ

Часть 1-49

Методы измерений и проведение испытаний. Дифференциальная задержка мод

Optical fibres. Part 1-49. Measurement methods and test procedures. Differential mode delay

Дата введения — 2016—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется только на многомодовые градиентные волокна (далее — волокна) со стеклянной сердцевиной (категория А1). Данный метод испытания обычно используют в производственных и исследовательских помещениях, применение его в полевых условиях затруднительно.

В настоящем стандарте описан метод получения характеристик модовой структуры градиентного многомодового волокна. Данная информация полезна для оценки характеристик полосы пропускания волокна, особенно в случае волокон, предназначенных для применения при разных условиях возбуждения, например производимых нормированными лазерными передатчиками.

При данном методе свет на выходе волокна, которое является одномодовым, с длиной волны, на которой проводят испытание, возбуждает испытуемое волокно. Измерительное пятно сканируют через торцевую поверхность испытуемого волокна и задержку оптического импульса определяют для заданных положений смещения.

От одних и тех же данных могут быть получены два результата. Во-первых, может быть определена разница во времени задержки оптического импульса между самой быстрой и самой медленной модовыми группами испытуемого волокна. Лицо, проводящее измерение, указывает верхнюю и нижнюю границы положений радиальных сдвигов в пределах, в которых измерительное волокно сканируется с целью определения желаемых границ модальной структуры. Данные дифференциальной задержки мод (DMD) затем сравнивают со значениями DMD, указанными в технических условиях, которые были определены путем моделирования и проведения экспериментов с целью соответствия минимальному значению эффективной модовой ширины полосы пропускания (EMB) для диапазона передатчиков. Во-вторых, формы оптических импульсов могут объединяться с использованием специальных весовых коэффициентов для определения расчетного значения эффективной модовой ширины полосы пропускания (EMBc), и, путем расчета последовательности значений EMBc разными наборами весовых коэффициентов в соответствии с диапазоном передатчиков, может быть рассчитано минимальное значение EMBc.

Данное испытание позволяет оценить результаты взаимовлияний между модовой структурой волокна и модовыми характеристиками источника, за исключением взаимосвязей между спектральными характеристиками источника и хроматической дисперсией волокна. Добавление влияния хроматической дисперсии и ширины спектра источника приведет к уменьшению общей ширины полосы пропускания, но для этого проводят отдельные расчеты для большинства моделей передачи сигнала. В данном испытании влияние ненулевой ширины спектра минимизировано, но любой остаточный эффект приводит к увеличению значения DMD и уменьшению значения EMBc.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие международные стандарты (для недатированной ссылки следует использовать последнее издание указанного стандарта, включая все последующие изменения):

МЭК 60793-1-1 Волокна оптические. Часть 1-1. Методы измерений и проведение испытаний. Общие положения и руководство (IEC 60793-1-1, Optical fibres — Part 1-1: Measurement methods and test procedures — General and guidance)

МЭК 60793-1-22 Волокна оптические. Часть 1-22. Методы измерений и проведение испытаний. Измерение длины (IEC 60793-1-22, Optical fibres — Part 1-22: Measurement methods and test procedures –Length measurement)

МЭК 60793-1-41 Волокна оптические. Часть 1-41. Методы измерений и проведение испытаний. Широна полосы пропускания (IEC 60793-1-41, Optical fibres — Part 1-41: Measurement methods and test procedures — Bandwidth)

МЭК 60793-1-42 Волокна оптические. Часть 1-42. Методы измерений и проведение испытаний. Измерение хроматической дисперсии (IEC 60793-1-42, Optical fibres — Part 1-42: Measurement methods and test procedures –Chromatic dispersion)

МЭК 60793-1-45 Волокна оптические. Часть 1-45. Методы измерений и проведение испытаний. Измерение модового поля (IEC 60793-1-45, Optical fibres — Part 1-45: Measurement methods and test procedures — Mode fild diameter)

МЭК 60793-2-10 Волокна оптические. Часть 2-10. Технические условия на изделие. Групповые технические условия на многомодовые волокна категории А1 (IEC 60793-2-10, Optical fibres — Part 2-10: Measurement methods and test procedures — Sectional specification for category A1 multimode fibres)

МЭК 61280-1-4 Методики испытаний подсистем волоконно-оптической связи. Часть 1-4. Общие подсистемы связи. Сбор и предварительная обработка двухразмерных данных в ближнем поле для мультимодовых волоконных лазерных передатчиков (IEC 61280-1-4, Fibre optic communication subsystem test procedures — Part 1-4: General communication subsystems — Collection and reduction of two-dimensional nearfield data for multimode fibre laser transmitters)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте используются следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **дифференциальная задержка мод;** DMD (differential mode delay; DMD): Предполагаемая разность времени задержки оптического импульса между самой быстрой и самой медленной модами, возбуждаемыми для всех положений радиального смещения между R_{INNER} и R_{OUTER} включительно.

3.2 **эффективная модовая ширина полосы пропускания;** EMB (effective modal bandwith; EMB): Ширина полосы пропускания, связанная с передаточной функцией $H(f)$ конкретной комбинации лазер/волокно.

3.3 **внутренний предел** R_{INNER} , **внешний предел** R_{OUTER} (inner limit R_{INNER}, outer limit R_{OUTER}): Границы радиальных смещенных положений на торцевой поверхности испытуемого волокна, в пределах которых осуществляется сканирование измерительного пятна.

4 Оборудование

4.1 Оптический источник

Используют оптический источник, который возбуждает в измерительном волокне импульсы малой длительности и с малой шириной спектра.

Временная длительность оптического импульса должна быть достаточно малой для измерения времени определенной дифференциальной задержки. Максимально допустимая длительность оптического импульса, определяемая полной шириной спектра по уровню 25 % максимальной амплитуды, будет зависеть как от определяемого значения DMD, так и от длины образца. Например, если желаемое предельное значение DMD, нормированное по линейному закону, составляет 0,20 пс/м для образца длиной 500 м, то измеряемое значение DMD должно составлять 100 пс и длительность возбуждающего импульса должна быть менее ~ 110 пс. При проведении испытания на длине волокна 10000 м для достижения того же предельного значения DMD измеряемое значение DMD должно со-

ставлять 2000 пс и для возбуждения может использоваться импульс длительностью ~ 2200 пс. Подробные предельные значения приведены в 6.1 и могут зависеть от ширины спектра источника.

Увеличение ширины спектра, вызываемое хроматической дисперсией, должно находиться в пределах, указанных в приложении В. Данное требование к ширине спектра может быть выполнено путем использования источника с узким спектром или путем использования соответствующих оптических фильтров на стороне источника или на стороне детектора.

Центральное значение длины волны должно лежать в пределах ±10 нм от номинального заданного значения длины волны.

Примером источника, подходящего для использования в данных условиях, является титан-сапфировый лазер с синхронизацией мод.

4.2 Устойчивость образца

Для обеспечения достаточной устойчивости образца и воспроизводимости результатов с целью соответствия условиям в 4.3 и 4.4 для позиционирования входного и выходного концов испытуемого образца применяют соответствующие устройства.

4.3 Система ввода излучения

Измерительное волокно, расположенное между источником света и испытуемым образцом, должно распространять только одну моду на длине волны, на которой проводят измерение. Диаметр модового поля измерительного волокна для длины волны λ должен быть (8,7λ – 2,39) ± 0,5 мкм, где λ — длина волны, на которой проводят измерение, в микрометрах, и диаметр модового поля определяют в соответствии с МЭК 60793-1-45. При использовании данного уравнения получают диаметр модового поля, равный 5 мкм для 850 нм и 9 мкм для 1310 нм, что соответствует одномодовым волокнам.

Необходимо, чтобы выход измерительного волокна был одномодовым. Один из способов достичь этого — отфильтровать моды высшего порядка путем обертывания измерительного волокна тремя оборотами вокруг оправки диаметром 25 мм.

Световое пятно, получаемое на выходе измерительного волокна, перемещают по торцевой поверхности испытуемого образца с точностью позиционирования не более ± 0,5 мкм.

Световой луч, получаемый на выходе измерительного волокна, должен быть перпендикулярен торцевой поверхности испытуемого волокна в пределах угловой погрешности менее 1,0°.

Система ввода излучения должна быть способна обеспечивать при каждом измерении центрирование светового пятна, получаемого на выходе измерительного волокна, в пределах ±1,0 мкм.

Если измерительное волокно непосредственно соединено с испытуемым образцом, то промежуток между выходным концом измерительного волокна и торцевой поверхностью испытуемого образца не должен превышать 10 мкм.

Оптическая система, состоящая из линз или зеркал, расположенных в свободном пространстве, может использоваться для отображения светового пятна, получаемого на выходе измерительного волокна, на торцевую поверхность испытуемого образца. При использовании данного типа системы ввода излучения необходимо добиться того, чтобы в испытуемом волокне возбуждались в основном одни и те же моды, как в случае если бы световой луч в испытуемое волокно вводился непосредственно с выхода одномодового измерительного волокна. Например, оптическая система ввода излучения, расположенная в свободном пространстве не должна виньетировать луч, должна сохранять размер измерительного пятна на испытуемом волокне и должна сохранять когерентность волнового фронта луча на выходе измерительного волокна.

Принимают меры для удаления света в оболочке из испытуемого образца. Часто покрытия волокна достаточно для выполнения этой функции. Другими словами, используют фильтры оболочечных мод вблизи обоих концов испытуемого образца. Если волокно удерживается на фильтрах оболочечных мод с использованием грузов малого веса, то необходимо принять меры для предотвращения образования макроизгибов в местах крепления этих грузов.

4.4 Система детектирования

Используют оборудование оптического детектирования соответствующее значению длины волны, на которой проводят испытание. Оборудование детектирования должно передавать все канализируемые моды из испытуемого образца в активную область детектора таким образом, чтобы чув-

ствительность детектирования не зависела в значительной степени от типа мод. Детектор совместно с любым используемым предварительным усилителем сигнала должен иметь линейный отклик (в пределах ± 5 %) в диапазоне детектируемой мощности.

Временной отклик системы детектирования, включая любой оптический аттенюатор, не должен в значительной мере зависеть от типа мод.

Специальное испытание на зависимость от типа мод приведено в 6.1. В качестве альтернативы временной отклик детектора может представлять собой функцию смещения до тех пор, пока он является стабильным во время проведения измерения (то есть ΔT_{PULSE} (r) должно находиться в пределах ± 5 % в соответствии с требованием в 6.1).

Колебательный процесс в системе детектирования должен быть ограничен таким образом, чтобы максимальное превышение или максимальный недобег были менее 5 % пиковой амплитуды обнаруженного оптического сигнала значения, измеренного на эталоне.

Форму обнаруженного оптического сигнала регистрируют и отображают на соответствующем приборе, например, высокоскоростном стробоскопическом осциллографе с откалиброванной временной разверткой.

Используют устройство задержки, например цифровой генератор задержки, для переключения электронных устройств детектирования в точное время. Устройство задержки может переключать оптический источник или переключаться им. Устройство задержки может быть внутренним или внешним по отношению к регистрирующему прибору.

Суммарное воздействие дрожания импульсов синхронизации и шума в системе детектирования должно быть достаточно мало, так чтобы разница между следующими один за другим измерениями времени задержки оптического сигнала для любого фиксированного возбуждения, использованного в измерении, была менее 5 % измеренного значения DMD.

Может использоваться усреднение детектированной формы сигнала для многократных оптических импульсов с целью уменьшения воздействия дрожания импульсов синхронизации и шума. Если используется усреднение, то одинаковое число средних значений должно использоваться при регистрации каждой формы сигнала. Система должна поддерживать данный уровень стабильности во время измерения.

4.5 Вычислительное оборудование

При использовании настоящего метода испытания требуется компьютер для хранения промежуточных данных и расчета результатов испытания.

5 Отбор и подготовка образцов

5.1 Испытуемый образец

Испытуемый образец представляет собой многомодовое градиентное волокно с сердцевиной из стекла (категория А).

5.2 Торцевые поверхности образца

Подготавливают плоские торцевые поверхности входного и выходного концов образца.

5.3 Длина образца

Длину образца измеряют, используя соответствующий точный метод, например указанный в МЭК 60793-1-22.

5.4 Установка образца

При установке и поддержке испытуемого волокна следует избегать его растяжения и микроизгибов.

5.5 Позиционирование образца

Входной конец испытуемого волокна выравнивают относительно выходного конца системы ввода излучения, как указано в 4.3.

Выходной конец испытуемого образца выравнивают относительно системы детектирования, как указано в 4.4.

6 Проведение испытания

6.1 Настройка и измерение отклика системы

Выходной конец измерительного волокна соединяют с оборудованием детектирования. Это может быть осуществлено путем установки измерительного волокна в оборудование детектирования или путем использования короткого (< 10 м) отрезка волокна, установленного между системой ввода излучения и системой детектирования, или путем непосредственного соединения выхода измерительного волокна с детектором через систему линз и зеркал. Если используется короткое волокно, то оно может быть того же типа, что и испытуемое волокно.

Устанавливают такое значение амплитуды оптического импульса, чтобы оно соответствовало наименьшей ожидаемой пиковой амплитуде на выходе испытуемого волокна во время измерения. Наименьшая пиковая амплитуда на выходе испытуемого волокна обычно наблюдается в случае наибольшего радиального смещения светового пятна.

Регулируют временную шкалу системы детектирования для ее соответствия временной шкале, используемой при получении данных от испытуемого образца для фиксации всего импульса (см. 6.2).

Измеряют форму сигнала оптического импульса и определяют ее временную ширину по уровню 25 % пиковой амплитуды. Данное значение используют для расчета результатов измерения и присваивают ему наименование ΔT_{PULSE}. Линейная интерполяция может использоваться между соседними точками для расчета ΔT_{PULSE} для повышения точности.

Повторные измерения ΔT_{PULSE} должны различаться не более чем на 5 % измеряемого значения DMD.

Если используют короткий отрезок волокна или систему линз и зеркал, то значения ΔT_{PULSE} должны различаться не более чем на 5 % от значений, полученных путем соединения измерительного волокна непосредственно с оборудованием детектирования.

Проводят испытание и удостоверяются в том, что оборудование детектирования не зависит в значительной степени от типа мод, подготавливают специальный короткий испытуемый образец того же типа волокна, что и испытуемое волокно. Измеряют значение ΔT_{PULSE} для каждого значения радиального смещения, используемого в измерениях. Это значение должно соответствовать требованиям 6.1.

Для расчета значения ΔT_{REF}, соответствующего значениям ΔT_{PULSE}, ширины спектра источника и хроматической дисперсии волокна, используют приложение А.

6.2 Настройка системы детектирования

Из измерительного волокна свет вводят в испытуемое волокно. Регулируют временную шкалу и задержку срабатывания системы детектирования таким образом, чтобы один полный оптический импульс отображался для всех соответствующих точек смещения измерительного пятна, включая все передние и задние фронты, имеющие амплитуду не менее 1% пиковой амплитуды. Все данные по испытуемому образцу получают без дальнейшей регулировки задержки и временной шкалы.

Находят центр сердцевины испытуемого волокна. Одним из методов для нахождения центра является сканирование положения измерительного пятна поперек торцевой поверхности испытуемого волокна. Находят оба края сердцевины волокна вдоль некоторой произвольной оси x, при этом край определяют как положение, при котором общая полученная мощность достигает порога около 15 % максимума. Центрируют измерительное пятно вдоль оси x. Затем сканируют измерительное пятно вдоль ортогональной оси y, находят края сердцевины волокна и центрируют измерительное пятно вдоль оси y. При необходимости повторяют данную последовательность действий для достижения требуемого позиционного допуска. Когда измерительное пятно отцентрировано, DMD будет симметрично между положительным и отрицательным смещениями вдоль осей x и y. В МЭК 61280-1-4 также описан другой метод для нахождения оптического центра волокна (см. МЭК 61280-1-4, 5.4).

6.3 Измерение на испытуемом образце

Измеряют отклик испытуемого образца $U(r,t)$ при радиальных смещениях r измерительного пятна в диапазоне $R_{INNER} \le R \le R_{OUTER}$ на интервалах ≤ 2 мкс. Значения R_{INNER} и R_{OUTER} указывают в технических условиях (см. раздел 9). В зависимости от указанных значений R_{INNER} и R_{OUTER} могут потребоваться значения интервалов менее 2 мкс.

Пример — Если в технических условиях указано R_{INNER} = 0 и R_{OUTER} = 17 мкм, то наименьшее число радиальных смещений будет 10. Набор значений 0, 2, ... , 16, 17 мкм, либо 0, 1, ... , 15, 17 мкм будет соот-

ветствовать минимальным требованиям. В качестве альтернативы можно использовать набор из 18 значений смещений при 0, 1, 2, ... , 16, 17 мкм.

Для измерений EMBc проводят сканирование от оптического центра до положения в пределах 1 мкм номинального радиуса сердцевины. Можно использовать дополнительные положения радиального смещения. При измерениях EMBc многомодовых волокон подтипа A1a.2 с диаметром сердцевины 50 мкм измеряют $U(r, t)$ в диапазоне $0 \le r \le 24$ мкм на интервалах ≤ 2 мкм.

Для каждого положения радиального смещения измеряют форму сигнала оптического импульса и определяют временное положение переднего и заднего фронтов по уровню 25 % максимальной амплитуды результирующей формы сигнала (см. приложение В). Линейная интерполяция может использоваться между соседними временными положениями для оценки значений времени переднего и заднего фронтов импульса для повышения точности измерений. Регистрируют значения времени переднего и заднего фронтов импульса для каждого положения радиального смещения.

7 Расчеты и интерпретация результатов

Минимальная эффективная модовая ширина полосы пропускания (EMB) волокна — это минимальная ширина полосы пропускания, соответствующая возбуждению от передатчиков в соответствии с указанными условиями возбуждения. Например, минимальная EMB указана в МЭК 60793-2-10 применительно к условиям возбуждения, которые также указаны в МЭК 60793-2-10. Минимальную EMB определяют путем расчета DMD или минимального расчетного значения EMB (EMBc). Цель любого из этих расчетов — удостовериться, что EMB волокна превышает требование к распределению мощности любой моды, согласующемуся с соответствующими передатчиками. Соответствие передатчиков определенным требованиям можно определить, например, с помощью требований к окруженному потоку, указанных в МЭК 60793-2-10, измеренных по МЭК 61280-1-4.

7.1 Дифференциальная задержка мод (DMD)

Находят T_{FAST} – минимальное значение времени возбуждения переднего фронта импульса между R_{INNER} и R_{OUTER} из числа выходных импульсов, зарегистрированных в 6.3.

Находят T_{SLOW} — минимальное значение времени возбуждения заднего фронта импульса между R_{INNER} и R_{OUTER} из числа выходных импульсов зарегистрированных в 6.3.

Рассчитывают DMD следующим образом.

Вариант 1 (см. приложение В)

Используя значение ΔT_{REF} из 6.1, DMD = $(T_{SLOW} - T_{FAST}) - \Delta T_{REF}$.

Нижний предел для DMD, указываемый в отчете и рассчитываемый с использованием данного уравнения, равен $0{,}9(\Delta T_{REF})$ вследствие проблем, связанных с практическими измерениями и указанных в приложении С. Следовательно, если значение DMD, рассчитанное с использованием вышеуказанного уравнения меньше $0{,}9(\Delta T_{REF})$, в отчете указывают результат как «меньший $0{,}9(\Delta T_{REF})$».

Вариант 2

В качестве альтернативы DMD может быть рассчитано методом обратного преобразования свертки эталонного импульса из импульсов, возбуждающих испытуемое волокно. Для использования метода обратного преобразования свертки алгоритм не должен приводить к значительной погрешности для формы импульсов, используемых при измерении, особенно возникающих при выборе фильтра высокочастотного шума.

Многократные значения DMD

Волокно можно характеризовать значениями многократной DMD, каждое значение должно быть оценено для разных значений R_{INNER} и R_{OUTER}. В этом случае все значения DMD можно определить, используя выходные импульсы, зарегистрированные в 6.3, при условии, что требования к радиальному смещению в 6.3 удовлетворяются для каждого диапазона R_{INNER} и R_{OUTER}.

7.2 Минимальное расчетное значение эффективной модовой ширины полосы пропускания

Минимальное EMBc — минимальное значение EMBc, определяемое для конкретного волокна с использованием полного набора весовых коэффициентов соответствующего диапазона модовых распределений мощности с использованием расчетов в 7.2.1–7.2.4.

Весовые коэффициенты DMD соответствуют диапазону модовых распределений мощности, согласованному с техническими требованиями к условиям возбуждения оптических передатчиков, используемых для конкретного применения. Они указываются в частных технических условиях потребителя. Потребитель может также указать дополнительный множитель, используемый для выравнивания EMBc с теоретическим значением эффективной модовой полосы пропускания, требуемым для конкретного применения. Набор весовых коэффициентов, используемый по умолчанию, применяемый, например, для IEEE 802.3 10 GBASE-S и INCITS 364 10GFC, указан в МЭК 60793-2-10 и также включен в качестве примера в приложение D настоящего стандарта. В приложении С приведена методика формирования весовых коэффициентов DMD с использованием параметра Encircled Flux.

В следующих расчетах используются весовые функции, получаемые из параметра Encircled Flux в ближнем поле лазерных источников, являющихся типовыми для данных условий применения. Для конкретного волокна применение нескольких весовых функций позволяет получить некоторое число значений EMBc, минимальное из которых является минимальным EMBc для данного волокна.

Примечание — В случае, когда данные DMD получены для положений смещения, отделенных друг от друга на 2 мкм, значения $U(r, t)$ промежуточных положений смещения в 1 мкм могут быть интерполированы с целью проведения этих расчетов.

7.2.1 Расчет выходного импульса

Рассчитывают результирующий выходной временной отклик $P_o(t)$, используя информацию об импульсе на выходе волокна и весовую функцию.

$$P_o(t) = \sum_r W(r) U(r,t), \quad (1)$$

где $U(r,t)$ — выходной стробирующий импульс, измеряемый для каждого радиального смещения r как функция от времени t. Каждый выходной импульс является необработанным (ненормированным по амплитуде) после соответствующего вычитания флуктуационного шума;

$W(r)$ — весовая функция DMD, соответствующая передатчику, используемому в конкретном случае (см. приложение С для подробностей по расчету $W(r)$ и приложение D — для примера значений $W(r)$, соответствующих конкретным техническим требованиям к возбуждению).

7.2.2 Расчет передаточной функции

Находят первообразную эталонной временной характеристики $R(t)$ из результирующей выходной характеристики $P_o(t)$ сходным образом с аналогичным преобразованием при измерениях ширины полосы пропускания, описанных в МЭК 60793-1-41. В результате получают частотную характеристику волокна $H_{Fib}(f)$, также называемую передаточной функцией волокна.

$$H_{Fib}(f) = FT\{P_o(t)\} / FT\{R(t)\}, \quad (2)$$

где $P_o(t)$ — результирующий выходной импульс из 7.2.1;

$R(t)$ — результирующий эталонный импульс из 6.1;

FT — функция преобразования Фурье.

Примечание — В результате этих вычислений получают массив комплексных чисел.

7.2.3 Расчетное значение эффективной модовой ширины полосы пропускания (EMBc)

Рассчитывают ширину полосы пропускания оптического импульса по уровню минус 1,5 дБ. Этот уровень определяют по наименьшему значению частоты, для которого величина передаточной функции на 1,5 дБ ниже величины передаточной функции для значения нулевой частоты. Величину оптического импульса минус 1,5 дБ затем экстраполируют до минус 3 дБ, используя Гауссовские допущения, умножая ее до 1,414.

Примечание — Ширину полосы пропускания можно определить с помощью традиционного 3 дБ определения (первая точка в которой передаточная функция $H_{Fib}(f)$ достигает значений 50 % или 3 дБ). Однако при использовании реальных волокон и реальных источников излучения могут быть получены амплитудно-частотные характеристики, имеющие весьма не Гауссовское распределение. Было продемонстрировано, что для таких характеристик измеренное значение 3 дБ не обеспечивает их хорошую корреляцию с характеристиками системы. Метрическое значение 1,5 дБ используют для устранения некоторых ограничений волновой передаточной функции и ее воздействия на значение минус 3 дБ.

7.2.4 Граничная частота устойчивости системы (SSFL)

Определяют

$$G_{ref}(f) = \frac{FT(R_A(t))}{FT(R_B(t))}, \quad (3)$$

где R_A и R_B — два независимых эталонных импульса;

SSFL — минимальная частота, где $|G(f)|$ превышает 1,0 ± 0,05 (см. МЭК 60793-1-41).

Если значение EMBc, рассчитанное для комбинации волокно/лазер, превышает значение SSFL, то в отчете указывают нормированное значение ширины полосы пропускания как большее чем SSFL × длина.

7.3 Нормирование длины

Допустимо нормировать значение DMD к единице длины, например пс/м. Если DMD нормировано к единице длины, то в отчете указывают формулу зависимости от длины.

8 Документация

8.1 Информация, указываемая в отчете по каждому испытанию:

- обозначение испытуемого образца;
- длина испытуемого образца;
- формула нормирования длины, если она используется;
- дата проведения испытания;
- длина волны источника (номинальное или действительное значение);
- минимальное и максимальное значения радиального сдвига, R_{INNER}, R_{OUTER};
- результат испытания: значение DMD (R_{INNER}, R_{OUTER}) и/или минимальное значение EMBc.

8.2 Информация, предоставляемая по требованию:

- используемый метод измерения;
- описание испытательного оборудования, включая: тип источника излучения, действительное значение центральной длины волны, максимальное указанное или действительное значение ширины спектра (среднеквадратичное значение);
- для измерения DMD: документирование метода, используемого для расчета ΔT_{REF}. Для минимального значения EMBc: свойства передаточной функции, которые используются для определения ширины полосы пропускания, и набор используемых весовых коэффициентов;
- тип детектора и условия эксплуатации;
- диаметр модового поля измерительного волокна при измерении длины волны (номинального или действительного значения);
- метод удаления света из оболочки волокна;
- дата последней калибровки испытательного оборудования.

9 Информация в технических условиях

При определении характеристик волокна с использованием данного метода испытания в технических условиях указывают следующую информацию:

- число и тип испытуемых образцов;
- порядок проведения испытания (МЭК 60793-1-49);
- значение (значения) длины волны, при которых проводят испытание;
- требования к DMD: требуемое значение DMD для указанного диапазона значений минимального и максимального радиального смещения, DMD (R_{INNER}, R_{OUTER}). Может потребоваться оценка нескольких разных DMD значений для разных указанных диапазонов в R_{INNER} и R_{OUTER};
- для измерений DMD указывают вариант метода из 7.1;
- для требований к EMBc: требуемое минимальное значение EMBc;
- для требований к EMBc: требуемый набор весовых коэффициентов для приложения С.

Приложение А
(справочное)

Ограничение ширины спектра источника

А.1 Ограничение влияния хроматической дисперсии на значение DMD

Влияние погрешностей вносимых хроматической дисперсией на значение DMD должно быть менее 10 %. Это требование может быть удовлетворено путем использования источника излучения с достаточно малой шириной спектра, позволяющей не учитывать хроматическую дисперсию, или точного определения формы спектра источника и расчета соответствующего значения ΔT_{REF}.

Можно получить оценочное значение хроматической дисперсии $D(\lambda)$, используя данные, указанные в А.2. В качестве альтернативы, можно использовать значение $D(\lambda)$, полученное с использованием МЭК 60793-1-42 для конкретного типа испытуемого волокна. Требование к ширине спектра может быть удовлетворено путем использования источника с узким спектром или использования оптического фильтра на конце волокна со стороны источника или на конце волокна со стороны детектора.

Ниже приведено несколько примеров методов, удовлетворяющих требованию данного приложения.

А.1.1 Используют источник с достаточно узким спектром так, чтобы значение

$$\Delta t_{chrom} = \Delta t_{chrom} = 4\sqrt{\ln(2)} \cdot \delta\lambda \cdot D(\lambda) \cdot L \qquad (A.1)$$

было менее 10 % измеренного значения DMD. Это накладывает ограничение на среднеквадратичное значение ширины спектра $\delta\lambda$:

$$\delta\lambda \le \frac{0{,}1\,\mathrm{DMD}_{min}}{4\sqrt{\ln(2)} \cdot D(\lambda) \cdot L} = 0{,}030\,\frac{\mathrm{DMD}_{min}}{D(\lambda) \cdot L} \qquad (A.2)$$

Здесь DMD_{min} – это наименьшее определяемое значение DMD, $D(\lambda)$ — хроматическая дисперсия и L — длина образца. При типовом допущении, что задержки мод в волокне линейно пропорциональны длине волокна, данное ограничение не зависит от длины волокна.

Используют $\Delta T_{REF} = \Delta T_{PULSE}$ в 6.1 и для расчета значения DMD.

Пример — Значения DMD 100 пс получают при проведении испытания на длинах волокон 0,5 км при длине волны 850 нм. Из таблицы А.1 значение D(λ) при 850 нм равно 107 пс/нм·км. Подставляя данную информацию в уравнение (А.2), среднеквадратичная ширина спектра δλ должна быть ≤ (0,03·100 пс) / (107 пс/нм·км·0,5 км) = 0,056 нм. Тот же источник света работал бы для испытуемого волокна длиной 10 км со значениями DMD 2000 нс.

А.1.2 Используют источник с достаточно малой шириной спектра, не учитывающий Δt_{chrom}, при условии, что значение ΔT_{PULSE} измененяет ΔT_{REF} менее чем на 10 %. Это накладывает ограничение на среднеквадратичное значение ширины спектра $\delta\lambda$:

$$\delta\lambda \le \frac{\sqrt{0{,}21} \cdot \Delta T_{PULSE}}{4\sqrt{\ln(2)} \cdot D(\lambda) \cdot L} = 0{,}138\,\frac{\Delta T_{PULSE}}{D(\lambda) \cdot L}. \qquad (A.3)$$

Используют $\Delta T_{REF} = \Delta T_{PULSE}$ в 6.1 и для расчета значения DMD.

В данном случае отсутствует четко выраженная зависимость ширины спектра источника $\delta\lambda$ от измеряемого значения DMD. Вместо этого минимальное значение DMD, которое можно измерить, задается непосредственно ΔT_{PULSE}.

Заметим, что существует четко выраженная зависимость максимально допустимого значения ширины спектра от длины образца. При неизменной ширине спектра хроматическое расширение станет слишком большим для того, чтобы его можно было игнорировать при длине образца больше определенного значения.

Пример — Специальный лазерный источник и оптический детектор, имеющий значение ΔT_{PULSE} = 60 пс используются для проведения измерений на образцах длиной 0,5 км при 850 нм. Подставляя данную информацию в уравнение (А.3), среднеквадратичная ширина спектра δλ должна быть ≤ (0,138 · 60 пс) / (107 пс/нм·км· 0,5 км) = 0,15 нм.

А.1.3 Рассчитывают соответствующее значение ΔT_{REF} для используемого источника. ΔT_{REF} — полная ширина по уровню 25 % каждой моды на выходе испытуемого волокна. Для почти Гауссовского импульса и форм спектра используют следующую формулу:

$$\Delta T_{REF} = \left(\Delta T_{PULSE}^2 + \Delta t_{chrom}^2\right)^{1/2}. \quad (A.4)$$

В данном случае верхняя граница ширины спектра источника косвенно устанавливает, в соответствии с требованием в 7.1, минимальное значение DMD, указываемое в отчете по измерению, равным 0,9(ΔT_{REF}).

Если источник имеет многократные спектральные пики или, другими словами, является в достаточной степени не Гауссовским, данная формула может быть неточной. Если уравнение А.4 используется для расчета значения ΔT_{REF} , то погрешность, вводимая в расчет DMD, должна быть меньше 10 %.

А.2 Хроматическая дисперсия в многомодовых волокнах

Данные в таблице А.1 представляют наибольшие ожидаемые значения дисперсии для любых коммерчески доступных волокон категории А1 на основе номинальных характеристик дисперсии и числовой апертуры (NA). Для значений длин волн, меньших 1200 нм, дисперсия принимает наибольшее значение, если волокно имеет максимальное значение λ_0 (0,29 NA волокна). Для значений длин волн, больших 1400 нм, дисперсия принимает наибольшее значение, если волокно имеет минимальное значение λ_0 (0,20 NA волокна). Здесь λ_0 — значение длины волны при нулевой дисперсии. Таблицу А.1 не используют для значений длин волн между 1200 нм и 1400 нм. Вместо этого используют D = 16,6 пс/нм·км.

Таблица А.1 — Наибольшие ожидаемые значения дисперсии для имеющихся в свободной продаже волокон категории А1

Длина волны λ, нм	Дисперсия D, пс/нм·км	Длина волны λ, нм	Дисперсия D, пс/нм·км	Длина волны λ, нм	Дисперсия D, пс/нм·км
780	146				
790	140				
800	133	1000	54,2	1400	8,28
810	128	1010	51,8	1410	9,08
820	122	1020	49,2	1420	9,85
830	117	1030	46,9	1430	10,6
840	112	1040	44,7	1440	11,4
850	107	1050	42,5	1450	12,1
860	102	1060	40.3	1460	12,8
870	98,0	1070	38,2	1470	13,5
880	93,7	1080	36,2	1480	14,2
890	89,7	1090	34,3	1490	14,9
900	85,7	1100	32,4	1500	15,6
910	82,1	1110	30,6	1510	16,2
920	78,4	1120	28,9	1520	16,9
930	75,0	1130	27,2	1530	17,5

Окончание таблицы А.1

Длина волны λ, нм	Дисперсия *D*, пс/нм·км	Длина волны λ, нм	Дисперсия *D*, пс/нм·км	Длина волны λ, нм	Дисперсия *D*, пс/нм·км
940	71,6	1140	25,5	1540	18,1
950	68,6	1150	23,9	1550	18,8
960	65,5	1160	22,4	1560	19,4
970	62,5	1170	20,8	1570	20,0
980	59,6	1180	19,4	1580	20,6
990	57,0	1190	17,9	1590	21,1
				1600	21,7

Допущения:

- для λ < 1200 нм: S_0 = 0,09562пс/(нм^2 км); λ_0 = 1344,5 нм для номинального многомодового волокна с 0,29 NA;

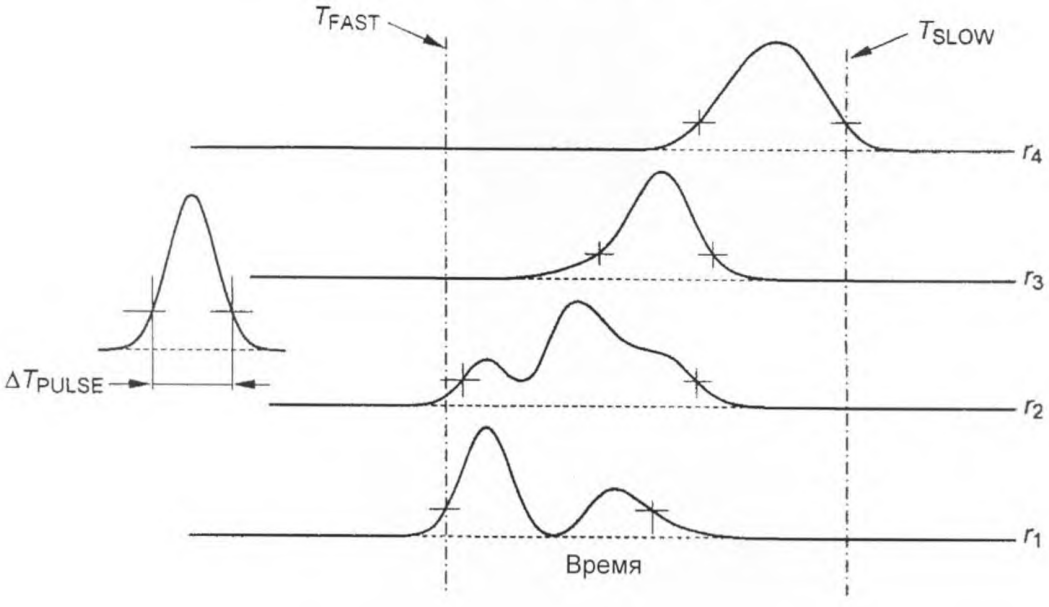
- для λ > 1400 нм: S_0 = 0,101 пс/(нм^2 км); λ_0 = 1310 нм для номинального многомодового волокна с 0,20 NA, где S_0 характеризует кривизну кривой дисперсии для λ_0.

Приложение В
(справочное)

Обсуждение подробностей измерения

В.1 DMD

Настоящий стандарт ориентирован на определение разницы в значениях времени задержки между самой быстрой и самой медленной модовыми группами, возбуждаемыми для установленного диапазона условий возбуждения, как показано на рисунке В.1. Данные DMD, получаемые в результате данных измерений, можно сравнить с техническими требованиями к DMD, которые были определены путем моделирования и проведения экспериментов на соответствие минимальному значению EMB для диапазона передатчиков.



Примечание — Значения времени переднего и заднего фронта (пороговые значения на уровне 25 % пикового значения) обозначены знаком «+». Графики сдвинуты с учетом положений возбуждения. На врезке показано ΔT_{PULSE}.

Рисунок В.1 — Теоретические данные DMD

Для любого заданного положения смещения пятно от одномодового измерительного волокна возбуждает несколько разных модовых групп. Форма результирующего выходного сигнала $U(r, t)$ демонстрирует сложную временную зависимость и обычно имеет многократные пики, и нет гарантии, что отдельные модовые группы будут четко различимы. Уровень детектирования переднего и заднего фронтов выбран на уровне 25 % пиковой амплитуды заданной формы сигнала. Этот выбор объясняется случаями, когда модовая группа, максимально возбужденная измерительным пятном при заданном смещении, разделена во времени с другими модовыми группами, возбужденными при этом же смещении. Уровень 25 % гарантирует детектирование отдельной модовой группы даже когда все другие моды имеют одинаковое время задержки, что приводит к тому, что суммарная амплитуда превышает амплитуду данной отдельной модовой группы.

Разница между T_{SLOW} и T_{FAST} будет больше чем DMD на величину, зависящую от ширины оптического импульса во временной области, конечной ширины полосы пропускания оптического детектора и расширения каждой моды вследствие ширины спектра источника и хроматической дисперсии испытуемого волокна.

Ширина оптического импульса во временной области и конечная ширина полосы пропускания детектора определяются как ΔT_{PULSE} . В пределах малого ΔT_{PULSE}, и полагая, что спектр источника имеет Гауссовскую форму, ширина во временной области по уровню 25 % максимума каждой моды на выходе испытуемого волокна будет равна

$$\Delta t_{\text{chrom}} = 4\sqrt{\ln(2)}\,\delta\lambda \cdot D(\lambda) L\,, \tag{B.1}$$

где $\delta\lambda$ — среднеквадратичное значение ширины спектра источника, нм;

$D(\lambda)$ — хроматическая дисперсия, пс/нм·км;

L — длина образца, км.

Коэффициент $4\sqrt{\ln(2)}$ получают из использования 25 % максимальной амплитуды в качестве порогового значения для оценки DMD наряду с использованием среднеквадратичного значения ширины спектра при определении характеристик источника излучения.

Полная ширина по уровню 25 % каждой моды на выходе испытуемого волокна тогда равна

$$\Delta T_{\text{REF}} = \left(\Delta T_{\text{PULSE}}^2 + \Delta t_{\text{chrom}}^2\right)^{1/2} \tag{B.2}$$

и DMD определяют по формуле

$$\text{DMD} = (T_{\text{SLOW}} - T_{\text{FAST}}) - \Delta T_{\text{REF}}\,. \tag{B.3}$$

Нужно заметить, что пока ΔT_{PULSE} остается постоянным по длительности оптического импульса и ширины полосы пропускания детектора, значение Δt_{chrom} изменяется в зависимости от длины образца. Ограничение влияния хроматической дисперсии подразумевает использование источника излучения, имеющего значение $\delta\lambda$, зависящее от измеряемого значения DMD, длины измеряемого образца и значения ΔT_{PULSE}, как указано в приложении А.

Так как определение DMD включает в себя сравнение значений времени задержки разных форм сигнала, полученных в результате измерений при разных положениях смещения, то потенциальную проблему представляет неустойчивая синхронизация или флуктуации длительности измерительного импульса. Нижняя граница DMD 0,9(ΔT_{REF}), указываемая в отчете, обеспечивает погрешность < 10 %, ограниченную, прежде всего общей неустойчивостью системы.

При разработке данной методики измерения нахождение первообразной реакции системы на детектированные оптические импульсы рассматривалось как метод вычисления T_{FAST} и T_{SLOW}. Однако указывая относительно грубую границу для наименьшего значения DMD, которое может быть измерено, применение усложненного метода нахождения первообразной не дает преимущества. Погрешности, получаемые при простом вычитании ΔT_{REF}, составляют менее 1 % для DMD ≥ 0,9 (ΔT_{REF}).

B.2 Расчет EMBc

Общее представление о расчете EMBc заключается в использовании информации об импульсе DMD для прогнозирования уширения импульса вследствие межмодовой дисперсии, когда волокно используют с реальными передатчиками. Методом генерации взвешенной суммы импульсов DMD можно исследовать воздействия на распределения мощности разных модовых групп при использовании разных передатчиков с целью определения репрезентативной формы импульса в наихудшем случае посредством преобразования Фурье для данной частотной области. Методом включения в обработку некоторого диапазона действительных модовых распределений мощности, но только тех, которые соответствуют передатчикам, соответствующим техническим требованиям по возбуждению волокна, характеристики волокна могут быть измерены для таких технических требований по возбуждению волокна без наложения ограничений на волокно.

Эффективная модовая ширина полосы пропускания (EMB) волокна зависит, по определению, только от модовых задержек и модовых весовых коэффициентов мощности. Обычно полагают, что в модовой группе существует полная связанность мод, так что задержки модовой группы будут определять значение EMB (и, фактически, характеристики действительного волокна с действительным передатчиком). Далее полагают, что между модовыми группами нет связи. Если задержки модовых групп и их относительная мощность для группы g обозначаются соответственно τ_g и P_g, то комплексная передаточная функция, из которой определяют EMB, имеет относительно простой вид

$$H(f) = \sum_g P_g \exp\left(i2\pi f \Delta\tau_g\right), \tag{B.4}$$

где $\Delta\tau_g = \tau_g - \tau_{ave}$ и

τ_{ave} – центроид модовых групп, определяемый как $\tau_{ave} = \sum_g P_g \tau_g$.

Амплитуда $|H(f)|$, из которой обычно рассчитывают ширину полосы пропускания, имеет следующий вид:

$$|H(f)| = \sqrt{\left[\sum_g P_g \cos\left(2\pi f \Delta\tau_g\right)^2 + \left(\sum_g P_g \sin\left(2\pi f \Delta\tau_g\right)\right)^2\right]}. \quad (B.5)$$

Стандартным определением ширины полосы пропускания (в соответствии с МЭК 60793-1-41) для многомодовых волокон является значение f по уровню минус 3 дБ, где функция $|H(f)|$ первый раз достигает значения 0,5. На практике, в зависимости от задержек мод и их относительной мощности, $|H(f)|$ может иметь волнистые и плоские участки, так что ширина полосы пропускания по уровню минус 3 дБ может оказаться неустойчивой к небольшим изменениям в распределении мощности моды, наблюдаемым на практике. Это хорошо известно [1, 2][1]. Ширина полосы пропускания по уровню минус 1,5 дБ более устойчива по отношению к этим характеристикам.

Расчет ЕМВс проводят в три этапа.

1) Для каждого импульса при измерении DMD для положения смещения r, мкм, указывают относительный весовой коэффициент W_r, и сумма импульсов с весовыми коэффициентами определяет взвешенный выходной импульс $P_o(t)$.

2) Воздействие эталона на выходной импульс исключают путем нахождения первообразной сходным образом, как и при измерении ширины полосы пропускания (МЭК 60793-1-41). При этом получают частотную характеристику или передаточную функцию, комплексную функцию $H(f)$, указанную выше.

3) ЕМВс определяют из сложной передаточной функции, как указано в 7.2.2, с использованием значения ширины полосы пропускания по уровню минус 1,5 дБ.

Для конкретного волокна шаги 1–3 повторяют с использованием набора весовых коэффициентов, соответствующих набору распределений мощности мод, и минимальным значением ЕМВс, определенным из данного набора, является измерение при минимальных рабочих характеристиках волокна при комплекте передатчиков, соответствующих данным указанным весовым коэффициентам. Нет необходимости в том, чтобы каждый весовой коэффициент соответствовал действительному передатчику.

Подход к определению рабочих характеристик для указанного волокна в единицах ЕМВс позволяет добиться устойчивости к ошибкам при проведении измерений за счет использования минимумов и использования откорректированной ширины полосы пропускания. В сущности, это позволяет определить значение ЕМВ для наихудшего случая (и, следовательно, в связанной модели — снижение производительности при межсимвольной интерференции) при условии, что используется достаточно большой набор весовых коэффициентов, и диапазон распределений возбуждения охватывает диапазон, допустимый для указанного случая применения волокна. Обычно если распределения возбуждения передатчиков достаточно индивидуальны и находятся в допустимом диапазоне распределения возбуждения, то для определения минимального значения ЕМВс достаточно 5–10 весовых коэффициентов (приблизительно соответствующих 5–10 передатчикам).

[1] Цифры в квадратных скобках относятся к библиографии.

Приложение С
(справочное)

Определение весовых коэффициентов DMD для расчета EMBc

С.1 Выбор набора весовых коэффициентов

Весовые коэффициенты для отдельного случая расчета EMBc можно обозначить вектором W_r , где r — смещение DMD. Набор весовых коэффициентов необходимых для расчета минимального значения EMBc можно задать в виде матрицы W_rL, где L соответствует конкретному весовому коэффициенту. Конкретный весовой коэффициент может быть связан с конкретным передатчиком, который «моделируют», или это может быть чисто теоретический весовой коэффициент. Данную привязку к конкретному передатчику нужно рассматривать как приближение, так как весовой коэффициент дублирует только одну характеристику передатчика — распределение модовой мощности. Тем не менее, путем расчета минимального значения EMBc с использованием широкого диапазона весовых коэффициентов, приближенно соответствующих широкому диапазону передатчиков, для волокна можно уверенно указать минимальное значение EMB для волокна с действительными передатчиками.

Набор весовых коэффициентов должен быть конкретно указан для определенных технических требований к передатчику и для определенных требований к скорости передачи данных (требования к ширине полосы пропускания). В приложении D приведен пример набора весовых коэффициентов DMD.

С.2 Порядок формирования весовых коэффициентов DMD для указанных данных радиального распределения мощности (encircled flux)

Для формирования весовых коэффициентов DMD, соответствующих данным радиального распределения мощности (encircled flux) для конкретного передатчика, выбранного в соответствии с МЭК 61280-1-4:

a) преобразуют данные радиального распределения мощности в расчетное распределение модовой мощности P_g ;

b) преобразуют распределение модовой мощности P_g в весовой коэффициент W_r .

Методы, указанные здесь, приведены для расчета распределения модовой мощности (MPD) из данных радиального распределения мощности и для расчета весовых коэффициентов DMD из распределения модовой мощности. В случае указанных весовых коэффициентов DMD можно провести обратные вычисления и рассчитать распределение модовой мощности из весовых коэффициентов DMD и затем интенсивность ближнего поля (или радиальное распределение мощности) из распределения модовой мощности. Данные методы предполагают, что радиальное распределение мощности на дальнем конце волокна длиной 10 м достаточно точно отображает распределение модовой мощности источника.

Радиальное распределение мощности измеряют в соответствии с МЭК 61280-1-4 и интенсивность ближнего поля выражаются уравнением

$$EF(r) = \frac{\int_0^r I(r)\,r\,dr}{\int_0^{r_{max}} I(r)\,r\,dr}, \qquad (C.1)$$

где r — радиальное смещение;

r_{max} — значение, обычно равное 1,15 радиуса сердцевины.

Расчет весового коэффициента DMD W_r представляет собой двухэтапный процесс:

1) из интенсивности ближнего поля I_r рассчитывают распределение модовой мощности P_g;

2) из распределения модовой мощности P_g рассчитывают весовую функцию W_r .

MPD получают из измерения ближнего поля, предполагая полную связанность мод в пределах группы, некогерентность и то, что излученное ближнее поле хорошо аппроксимируется измеренным ближним полем на коротком отрезке волокна. В этом случае существует связь между интенсивностью ближнего поля $I(r)$ и модовыми весовыми функциями скалярного волнового уравнения

$$I(r) = \sum_m P_m \Psi_m^2(r) \qquad (C.2)$$

Здесь MPD указано для отдельных мод до их сведения в группы. Невозможно решить данное уравнение для отдельных мод, т. к. отдельных мод большое количество (и по другим причинам), но если предположить, что отдельные моды сведены в группу, то

$$P_g \Psi_g^2(r) = \sum_{m \in G} P_m \Psi_m^2(r) \qquad (C.3)$$

и нужно найти P_g из уравнения

$$I(r) = \sum_g P_g \Psi_g^2(r). \quad (C.4)$$

Известно теоретическое значение $\Psi^2_g(r)$, и P_g можно найти методом наименьших квадратов при условии, что $I(r)$ известно.

После нахождения значения P_g весовая функция W_r связана с ним через матрицу P_{rg}, которая указывает относительную мощность в модовой группе g для смещения DMD в положении r [3, 4]. В этой точке необходимо решить второе среднеквадратичное уравнение

$$P_g = \sum_r W_r P_{rg}. \quad (C.5)$$

Этот подход и его варианты, приведенные ниже, согласуются с 10 GbE EMB моделью, в которой используют распределение модовой мощности P_g для 2000 теоретически сконструированных лазеров.

Примечания

1 Значение W_r, рассчитанное этим способом, должно обращать в ноль модовую мощность P_g в последних двух модовых группах (группы 18 и 19 в 10 GbE модели) для принятия во внимание стандартным способом дифференциального модового затухания, как было сделано в модели Ассоциации предприятий средств связи США.

2 Если в ходе расчета получают отрицательные значения P_g, то эти значения должны быть установлены в ноль до расчета W_r. Если, в свою очередь, получают отрицательные значения W_r, то им должны быть присвоены значения, равные нулю. Многократное выполнение процедуры наименьших квадратов, ограниченное использованием положительных значений W_r и P_g, позволит избежать этой проблемы.

Приложение D
(справочное)

Информация по расчету EMBc

D.1 Весовые коэффициенты DMD , используемые по умолчанию, для передатчиков в соответствии с МЭК 60793-2-10

Примеры наборов весовых коэффициентов в таблицах D.1 и D.2 являются характерными для передатчиков, соответствующих требованиям приложения D.1 МЭК 60793-2-10 (2004), например применяемых по стандарту IEEE 802.3 в сетях 10GBASE-SR и волоконном канале INCITS 364 10GFC. Весовые коэффициенты указаны для значений DMD, измеряемых с интервалами 1 мкм для 10 лазеров, соответствующих видимому диапазону.

Таблица D.1 — Весовые коэффициенты DMD — Пример набора 1

	Обозначение лазера				
r	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
1	0,033 023	0,023 504	0	0	0
2	0,262 463	0,188 044	0	0	0
3	0,884 923	0,634 634	0	0	0
4	2,009 102	1,447 235	0,007 414	0,005 637	0,003 034
5	3,231 216	2,376 616	0,072 928	0,055 488	0,029 856
6	3,961 956	3,052 908	0,262 906	0,200 05	0,107 634
7	3,694 686	3,150 634	0,637 117	0,483 667	0,258 329
8	2,644 369	2,732 324	1,197 628	0,896 95	0,458 494
9	1,397 552	2,060 241	1,916 841	1,402 833	0,661 247
10	0,511 827	1,388 339	2,755 231	1,957 805	0,826 035
11	0,110 549	0,834 722	3,514 797	2,433 247	1,000 204
12	0,004 097	0,419 715	3,883 317	2,639 299	1,294 439
13	0,000 048	0,160 282	3,561 995	2,397 238	1,813 982
14	0,001 111	0,047 143	2,617 093	1,816 953	2,506 95
15	0,005 094	0,044 691	1,480 325	1,296 977	3,164 213
16	0,013 918	0,116 152	0,593 724	1,240 553	3,572 113
17	0,026 32	0,219 802	0,153 006	1,700 02	3,618 037
18	0,036 799	0,307 088	0,012 051	2,240 664	3,329 662

Окончание таблицы D.1

	Обозначение лазера				
19	0,039 465	0,329 314	0	2,394 077	2,745 395
20	0,032 152	0,268 541	0	1,952 429	1,953 241
21	0,019 992	0,166 97	0	1,213 833	1,137 762
22	0,008 832	0,073 514	0	0,534 474	0,494 404
23	0,002 612	0,021 793	0	0,158 314	0,146 517
24	0,000 282	0,002 679	0	0,019 738	0,018 328
25	0	0	0	0	0

Т а б л и ц а D.2 — Весовые коэффициенты DMD — Пример набора 2

	Обозначение лазера				
r	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0
1	0,015 199	0,0162 53	0,022 057	0,0104 3	0,015 681
2	0,120 91	0,129 011	0,176 39	0,083 496	0,124 978
3	0,407 702	0,434 844	0,595 248	0,281 802	0,421 548
4	0,925 664	0,987 184	1,351 845	0,650 28	0,957 203
5	1,488 762	1,587 6	2,174 399	1,130 599	1,539 535
6	1,825 448	1,946 614	2,666 278	1,627 046	1,887 747
7	1,702 306	1,815 285	2,486 564	2,044 326	1,762 955
8	1,218 378	1,299 241	1,780 897	2,291 72	1,292 184
9	0,643 911	0,686 635	0,945 412	2,280 813	0,790 844
10	0,238 557	0,255 85	0,360 494	1,937 545	0,559 38
11	0,098 956	0,131 429	0,163 923	1,383 006	0,673 655
12	0,204 274	0,327 091	0,318 712	0,878 798	1,047 689
13	0,529 982	0,848 323	0,778 983	0,679 756	1,589 037
14	1,024 948	1,567 513	1,383 174	0,812 36	2,138 626
15	1,611 695	2,224 027	1,853 992	1,074 702	2,470 827
16	2,210 689	2,555 06	1,914 123	1,257 323	2,361 764

Окончание таблицы D.2

	Обозначение лазера				
17	2,707 415	2,464 566	1,511 827	1,255 967	1,798 212
18	2,938 8	2,087 879	0,908 33	1,112 456	1,059 264
19	2,739 32	1,577 111	0,386 991	0,879 309	0,444 481
20	2,090 874	1,056 343	0,111 76	0,608 183	0,123 304
21	1,261 564	0,595 102	0,014 829	0,348 921	0,012 552
22	0,552 14	0,256 718	0,001 818	0,151 12	0
23	0,163 627	0,076 096	0,000 54	0,044 757	0
24	0,020 443	0,009 446	0	0,005 639	0
25	0	0	0	0	0

D.2 Пример метода определения пригодности метрики скорректированной ширины полосы пропускания

Одним из методов определения пригодности метрики скорректированной ширины полосы пропускания является использование имитации (моделирования) работы сети 10 GbE Ассоциации предприятий средств связи США [5] и имитация 40000 оптических линков, включая эффективную модовую ширину полосы пропускания (EMB) и межсимвольную интерференцию (ISI). Полная передаточная функция может быть рассчитана для каждой из 10000 прямых оптических линков, не имеющих соединителей. Если EMB, рассчитанная для ширины полосы пропускания (BW) по уровню минус 3 дБ или скорректированной BW, больше 2000 МГц·км, тогда волокно также должно удовлетворять требованию ISI в 2,6 дБ. Некоторое число волокон удовлетворяет требованию минус 3 дБ BW > 2000 МГц·км и не удовлетворяет требованию ISI или не удовлетворяет требованию минус 3 дБ BW > 2000 МГц км и удовлетворяет требованию ISI. Метрика скорректированной ширины полосы пропускания M1 является улучшением метрики M2, в случае если обеспечивает сдвиг распределения волокон так, чтобы в основном все волокна, удовлетворяющие требованию минус 3 дБ BW > 2000 МГц·км также удовлетворяли бы и требованию ISI, но так чтобы внесение поправок, которые позволяют дополнительному числу волокон удовлетворять требованию ISI, не приводило к сдвигу, при котором минус 3 дБ BW будет меньше 2 000 МГц·км. Точный баланс между этими двумя задачами зависит от других требований, но ни одно волокно из двух категорий не будет иметь идеальной метрики скорректированной BW.

По мере продолжения процесса моделирования с использованием других скоростей передачи данных и длин волокна, метрика BW, скорректированная для конкретного случая, будет предпочтительной, если она будет использоваться во многих ситуациях и являться, таким образом, «масштабируемой».

Для достижения соответствия между метрикой производительности волокна, например, измеренное значение эффективной ширины полосы пропускания, которая учитывает влияния хроматической дисперсии и спектральные характеристики источника, и прогнозируемым минимальным значением EMBc может возникнуть необходимость в корректировке расчетной передаточной функции для эффекта хроматической дисперсии, обусловленного составом спектра источника. Если воздействие хроматической дисперсии значительно, то над передаточной функцией хроматической дисперсии, обусловленной спектром источника, проводят операцию свертки вместе с передаточной функцией волокна, рассчитанной в 7.2.2. Передаточную функцию хроматической дисперсии рассчитывают с использованием спектра источника, умножая его на измеренную задержку как функцию от длины волны.

Приложение Е
(справочное)

Сравнение между настоящим стандартом и рекомендациями Международного союза электросвязи

Рекомендации комитета по телекоммуникациям международного союза электросвязи G.650.1 не содержат информации о том, как измерять DMD градиентного многомодового волокна.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60793-1-1	–	*
МЭК 60793-1-22	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-22–2012 «Волокна оптические. Часть 1-22. Методы измерений и проведение испытаний. Измерение длины»
МЭК 60793-1-41	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-41–2013 «Волокна оптические. Часть 1-41. Методы измерений и проведение испытаний. Ширина полосы пропускания»
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 60793-1-45	IDT	ГОСТ Р МЭК 60793-1-45–2013 «Волокна оптические. Часть 1-45. Методы измерений и проведение испытаний. Диаметр модового поля»
МЭК 60793-2-10	–	*
МЭК 61280-1-4	–	*

* 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] Schicketanz, D. Fitting of a Weighted Gaussian Lowpass Filter to the Transfer Function of Graded-Index Fibres to Reduce Bandwidth Ambiguities. Elec. Left., 19, 1983,17, pp. 651–652.

[2] Stone, Ft. Problems in Bandwidth Measurement and a Suggested Solution. J. Lightwave Tech. 1, 1983, 1, p. 207

[3] Jeunhomme, L. and Pocholle, Jp. Selective mode excitation of graded index optical fibres.Applied Optics, 17, 1978, 3, p. 463.

[4] Snyder, Aw. and Love, Jd. Optical Waveguide Theory.London: Chapman and Hall, 1984.

[5] Pepeljugoski, P., Golowich, S., Ritger, J., Kolesar, P., Risteski , A. Modeling and Simulation of the next generation multimode fibre.IEEE J. Lightwave Technol., vol. 21, No.5, May 2003, pp. 1242–255.

[6] Pepeljugoski, P., Hackert, M., Abbott, J., Swanson, S., Golowich, S., Ritger, J., Kolesar, P., Chen, YC., and Pleunis, P. Development of System Specification for Laser-Optimized 50-um Multimode Fibre for MultigigabitShort-Wavelength LANs. IEEE J.Lightwave Technol. Vol. 21, No.5, May 2003, pp. 1256–1275.

IEC 60825-1, Safety of laser products — Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide (МЭК 60825-1 Безопасность лазерных изделий. Часть 1. Классификация оборудования, требованиям оборудованию, руководство пользователя)

IEC 60825-2, Safety of laser products — Part 2: Safety of optical fibre communication systems (МЭК 60825-2 Безопасность лазерных изделий. Часть 2. Безопасность волоконно-оптических систем связи)

УДК 681.7.068:006.354 ОКС 33.180.10 Э59 ОКП 63 6570

Ключевые слова: волокна оптические, дифференциальная задержка мод, испытательное оборудование, методы испытаний, обработка результатов

Подписано в печать 03.03.2015. Формат 60x84⅛.
Усл. печ. л. 3,26. Тираж 31 экз. Зак. 1057

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»,
123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru