



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.652

(06/2005)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Характеристики среды передачи – Волоконно-
оптические кабели

**Характеристики одномодового оптического
волокна и кабеля**

Рекомендация МСЭ-Т G.652

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G

СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

| | |
|--|--------------------|
| МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ | G.100–G.199 |
| ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ | G.200–G.299 |
| ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЧ-СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ | G.300–G.399 |
| ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ | G.400–G.449 |
| КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ | G.450–G.499 |
| ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ | G.600–G.699 |
| Общие положения | G.600–G.609 |
| Симметричные кабельные пары | G.610–G.619 |
| Наземные коаксиальные кабельные пары | G.620–G.629 |
| Подводные кабели | G.630–G.649 |
| Волоконно-оптические кабели | G.650–G.659 |
| Характеристики оптических компонентов и подсистем | G.660–G.699 |
| ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ | G.700–G.799 |
| ЦИФРОВЫЕ СЕТИ | G.800–G.899 |
| ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ | G.900–G.999 |
| КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ | G.1000–G.1999 |
| ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ | G.6000–G.6999 |
| ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ | G.7000–G.7999 |
| ETHERNET И АСПЕКТЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ СООБЩЕНИЙ | G.8000–G.8999 |
| СЕТИ ДОСТУПА | G.9000–G.9999 |

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т G.652

Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля

Резюме

В настоящей Рекомендации описываются геометрические, механические атрибуты и атрибуты передачи одномодового волокна и кабеля, который имеет длину волны нулевой дисперсии величиной около 1310 нм. Первоначально это волокно было оптимизировано для использования в области длины волны величиной 1310 нм, однако оно может также использоваться в области 1550 нм. Настоящая Рекомендация является последним вариантом пересмотренной Рекомендации, впервые созданной в 1984 году. В этой пересмотренной Рекомендации разъясняется, что PMD_Q должна определяться на не заключенном в кабель волокне, и ужесточаются некоторые допуски. Эта пересмотренная Рекомендация предназначена для поддержания постоянного коммерческого успеха этого волокна в развивающемся мире систем оптической передачи с высокими рабочими показателями.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.652 утверждена 29 июня 2005 года 15-й Исследовательской комиссией (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации А.8.

История

| Вариант | Дата утверждения | |
|-----------|-------------------|---|
| Вариант 1 | (октябрь 1984 г.) | |
| Вариант 2 | (ноябрь 1988 г.) | |
| Вариант 3 | (март 1993 г.) | |
| Вариант 4 | (апрель 1997 г.) | |
| Вариант 5 | (октябрь 2000 г.) | В эту пересмотренную Рекомендацию дополнительно включены таблицы для различных уровней поддержки системы. |
| Вариант 6 | (март 2003 г.) | В этой пересмотренной Рекомендации разъясняется номенклатура различных категорий волокна. Также, в соответствии с соглашением об описании спектральных полос, верхний предел полосы частот L был изменен с 16XX до 1625 нм. Обобщены (G.652.C и G.652.D) характеристики затухания для категорий уменьшенных водных пиков от единичной длины волны на более широкую область. Добавлены требования к PMD для всех категорий, а две категории имеют уменьшенные пределы (по сравнению с $0,5 \text{ пс}/\sqrt{\text{км}}$). Для проведения испытания на макроизгиб диаметр стержня был уменьшен до 30 мм в радиусе. Как видно из сказанного выше, настоящая Рекомендация существенно видоизменилась на протяжении ряда лет; поэтому внимание читателя обращается на необходимость рассмотрения соответствующего варианта для определения характеристик уже используемого продукта с учетом года изготовления. В действительности, предполагается, что изделия соответствуют Рекомендации, которая имела силу на момент их изготовления, но они могут не полностью соответствовать последующим вариантам Рекомендации. |
| Вариант 7 | (июнь 2005 г.) | Отмечается поддержка приложений G.695. В п. 5.10 приводится разъяснение метода величин коэффициента аппроксимации хроматической дисперсии и их использование вместе с небольшим текстом по применению статистики хроматической дисперсии для проектирования систем. В п. 6.2 разъясняется взаимосвязь с PMD_Q не заключенного в кабель волокна с волоконным кабелем. В таблицах требований: Из таблиц изъята строка о PMD не заключенного в кабель волокна, и изменено примечание по требованию к PMD не заключенного в кабель волокна. Уменьшен допуск диаметра области моды (MFD) на 1310 нм. Уменьшен максимальный наклон дисперсионной кривой при длине волны нулевой дисперсии. Уменьшен максимальный эксцентриситет. Уменьшены максимальные потери на макроизгибе. В таблицах 3 и 4 изменены формулировки требования для водных пиков с целью отражения ссылки на спецификацию для диапазона по сравнению со спецификацией для 1310 нм. |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации носит добровольный характер. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (например, для обеспечения возможности взаимодействия или применимости), и соблюдение положений данной Рекомендации достигается в случае выполнения всех этих обязательных положений. Для выражения необходимости выполнения требований используется синтаксис долженствования и соответствующие слова (такие, как "должен" и т.п.), а также их отрицательные эквиваленты. Использование этих слов не предполагает, что соблюдение положений данной Рекомендации является обязательным для какой-либо из сторон.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© ITU 2005

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

| | | |
|------|--|----|
| 1 | Область применения | 1 |
| 2 | Ссылки | 1 |
| 2.1 | Нормативные ссылки | 1 |
| 2.2 | Ссылки для сведения..... | 2 |
| 3 | Термины и определения | 2 |
| 4 | Сокращения | 2 |
| 5 | Атрибуты волокна..... | 2 |
| 5.1 | Диаметр модового пятна..... | 3 |
| 5.2 | Диаметр оболочки | 3 |
| 5.3 | Эксцентриситет сердцевины | 3 |
| 5.4 | Сплюснутость..... | 3 |
| 5.5 | Длина волны среза..... | 3 |
| 5.6 | Потери на макроизгибе | 3 |
| 5.7 | Свойства материала волокна | 4 |
| 5.8 | Профиль коэффициента преломления..... | 4 |
| 5.9 | Продольная однородность хроматической дисперсии | 4 |
| 5.10 | Коэффициент хроматической дисперсии..... | 4 |
| 6 | Атрибуты кабеля | 5 |
| 6.1 | Коэффициент затухания | 5 |
| 6.2 | Коэффициент поляризационной модовой дисперсии..... | 5 |
| 7 | Таблицы рекомендуемых величин | 6 |
| | Дополнение I – Информация для атрибутов линии и разработки систем..... | 11 |
| I.1 | Затухание..... | 11 |
| I.2 | Хроматическая дисперсия | 11 |
| I.3 | Дифференциальная групповая задержка (ДГЗ)..... | 12 |
| I.4 | Коэффициент нелинейности | 12 |
| I.5 | Таблицы величин общего типа | 12 |
| | БИБЛИОГРАФИЯ | 14 |

Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля

1 Область применения

В настоящей Рекомендации описывается одномодовый оптический кабель, который имеет длину волны нулевой дисперсии величиной около 1310 нм, оптимизирован для использования в области длины волны 1310 нм и который может также быть использован в области 1550 нм (для которой это волокно еще не оптимизировано).

Геометрические, оптические, механические параметры и параметры передачи описаны ниже в трех категориях атрибутов:

- атрибуты волокна, которые сохраняются при монтаже кабеля и установке;
- атрибуты кабеля, рекомендуемые для кабелей в том виде, как они поставляются;
- характеристики линий, которые являются характеристикой каскадно соединенных кабелей; описываются методы оценки параметров системного интерфейса, основанные на измерениях, моделировании и других соображениях.

Настоящая Рекомендация и различные категории показателей работы, сведенные в таблицы в п. 7, предназначены для того, чтобы дополнить следующие рекомендации, имеющие отношение к системе:

- Рек. МСЭ-Т G.957
- Рек. МСЭ-Т G.691
- Рек. МСЭ-Т G.692
- Рек. МСЭ-Т G.693
- Рек. МСЭ-Т G.959.1
- Рек. МСЭ-Т G.695

ПРИМЕЧАНИЕ. – В зависимости от протяженности линий может понадобиться приспособить дисперсию для некоторых прикладных кодов G.691, G.692 или G.959.1.

При измерении с целью проверки различных характеристик, данных в Рекомендациях МСЭ-Т G.650.1 и G.650.2, необходимо следовать значению терминов, используемых в этой Рекомендации, и руководящим указаниям. Характеристики этого волокна, включая определения соответствующих параметров, методы их испытания и соответствующие величины, будут уточнены по мере проведения исследований и накопления опыта.

2 Ссылки

2.1 Нормативные ссылки

Нижеследующие Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылок на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все рекомендации и другие источники являются предметом пересмотра; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается рассмотреть возможность применения последнего издания рекомендаций и других ссылок, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент рекомендаций МСЭ-Т публикуется регулярно. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус рекомендации.

- ITU-T Recommendation G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.650.2 (2005), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*

- IEC 60793-2-50 (2004), *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres.*

2.2 Ссылки для сведения

- ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- ITU-T Recommendation G.691 (2003), *Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers.*
- ITU-T Recommendation G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.693 (2005 г.), *Оптические интерфейсы для внутрифирменных систем.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.695 (2005 г.), *Оптические интерфейсы для приложений, использующих грубое мультиплексирование с разделением по длине волны.*
- ITU-T Recommendation G.957 (1999), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.959.1 (2003 г.), *Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети.*

3 Термины и определения

В целях настоящей Рекомендации применяются определения, данные в Рекомендациях МСЭ-Т G.650.1 и G.650.2. Значения округляются перед проведением оценки соответствия до количества разрядов, данного в таблицах рекомендуемых величин.

4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

| | |
|------------------|--|
| A_{eff} | Эффективная область |
| ДГЗ | Дифференциальная групповая задержка |
| ПМРДВ | Плотное мультиплексирование с разделением по длине волны |
| ГПа | Гига Паскаль |
| PMD | Поляризационная модовая дисперсия |
| PMD_Q | Статистический параметр для линии с PMD |
| СЦИ | Синхронная цифровая иерархия |
| TBD | Необходимо определить |
| МРДВ | Мультиплексирование с разделением по длине волны |

5 Атрибуты волокна

В этом пункте рекомендуются только те характеристики волокна, которые обеспечивают минимально необходимую при проектировании основу для изготовления волокна. Диапазоны или пределы по величинам представлены в таблицах пункта 7. Из них значительное влияние на длину волны среза волокна в кабеле и на PMD может оказывать изготовление кабеля или установка. В ином случае рекомендуемые характеристики будут одинаково применяться к отдельным волокнам, волокнам, которые заключены в кабель, намотанный на барабане, и волокнам в проложенном кабеле.

5.1 Диаметр модового пятна

Номинальное значение и допуск на это номинальное значение определяются для 1310 нм. Определяемый номинал находится в пределах диапазона, приведенного в пункте 7. Отклонение от номинала не превышает установленного допуска.

5.2 Диаметр оболочки

Рекомендуемое номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Допуск также устанавливается и не превышает величины, приведенной в пункте 7. Отклонение оболочки от номинала не превышает установленного допуска.

5.3 Эксцентриситет сердцевины

Эксцентриситет сердцевины не превышает величины, определенной в пункте 7.

5.4 Сплюсненность

5.4.1 Сплюсненность модового пятна

На практике сплюсненность модового пятна волокон, номинально имеющих круглые модовые пятна, считается достаточно низкой и потому не влияющей на распространение и сращивание.

5.4.2 Сплюсненность оболочки

Сплюсненность оболочки не превышает величины, приведенной в пункте 7.

5.5 Длина волны среза

Различают три имеющих практическое значение типа длины волны среза:

- a) длина волны среза кабеля λ_{cc} ;
- b) длина волны среза волокна λ_c ;
- c) длина волны среза кабельной перемычки λ_{cj} .

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для ряда конкретных приложений подводных кабелей могут потребоваться другие величины длины волны среза.

Взаимосвязь измеренных величин λ_c , λ_{cc} и λ_{cj} зависит от конкретного конструктивного исполнения волокна и кабеля и условий испытаний. В то время, как в общем случае $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, непросто установить общее количественное соотношение. Наибольшее значение имеет обеспечение одномодовой передачи при минимальной длине кабеля между стыками при минимальной рабочей длине волны. Это может быть осуществлено путем рекомендации максимальной длины волны среза кабеля λ_{cc} одномодового волоконного кабеля, которая должна составлять 1260 нм, или – для типовых перемычек – путем рекомендации максимальной длины волны среза кабельной перемычки, которая должна составлять 1250 нм, или – для худшего случая протяженности и изгибов – путем рекомендации максимальной длины волны среза волокна, которая должна составлять 1250 нм.

Длина волны среза кабеля λ_{cc} должна быть ниже максимума, установленного в пункте 7.

5.6 Потери на макроизгибе

Потери на макроизгибе изменяются в зависимости от длины волны, радиуса изгиба и числа витков на стержне конкретного радиуса. Потери на макроизгибе не превышают максимума, данного в пункте 7 для определяемых длин(ы) волн, радиуса изгиба и числа витков.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для обеспечения удовлетворения этого требования может быть достаточно проведения испытания на соответствие техническим условиям.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Рекомендуемое число витков соответствует примерному числу витков, развернутых во всех муфтах для сращивания на типовом ретрансляционном интервале. Рекомендуемый радиус эквивалентен минимальному радиусу изгиба, повсеместно принятому для долговременного развертывания волокон при практической установке систем, с тем чтобы избежать выхода из строя ввиду статической усталости.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Если по практическим соображениям для внедрения выбирается меньшее число витков, то рекомендуется, чтобы оно не снижалось ниже 40 витков, и тогда увеличение потерь будет пропорционально меньше.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Рекомендация в отношении потерь на макроизгибе касается развертывания волокон при практических установках одномодового волокна. Влияние радиуса изгиба при скручивании одномодовых волоконных кабелей на характеристики потерь учтено в спецификации потерь волоконного кабеля.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – При необходимости проведения обычных испытаний для точности и удобства измерений может использоваться петля меньшего диаметра с одним или несколькими витками вместо рекомендуемого испытания. В этом случае для испытания с несколькими витками диаметр петли, число витков и максимально возможные потери на изгибе выбираются таким образом, чтобы привести их в соответствие с рекомендуемым испытанием и допустимыми потерями.

5.7 Свойства материала волокна

5.7.1 Материалы волокна

Должны быть указаны вещества, из которых сделаны волокна.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Нужно проявлять осторожность при сваривании сращиваемых волокон, сделанных из различных веществ. Предварительные результаты указывают, что удовлетворяющих требованиям потерь при сращивании и прочности можно достичь при сращивании волокон с большим содержанием кварца.

5.7.2 Защитные материалы

Следует указывать физические и химические свойства материалов, используемых для первичного покрытия волокон, и наилучший способ его удаления (при необходимости). Аналогичные указания даются для одиночного волокна в оболочке.

5.7.3 Уровень проверочного напряжения

Определяемое проверочное напряжение σ_p не должно быть ниже минимума, заданного в пункте 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определения механических параметров содержатся в п. 3.2 и п. 5.6 Рек. МСЭ-Т G.650.1.

5.8 Профиль коэффициента преломления

Обычно не требуется знать профиль коэффициента преломления.

5.9 Продольная однородность хроматической дисперсии

На стадии исследования.

ПРИМЕЧАНИЕ. – При конкретной длине волны местная абсолютная величина коэффициента хроматической дисперсии может отличаться от значения, измеренного на большой протяженности. Если значение снижается до малой величины при длине волны, близкой к рабочей длине волны системы МРДВ, то смешение четырех волн может привести к распространению мощности на других длинах волн, в том числе включая другие рабочие длины волн. Амплитуда мощности четырех смешанных волн является функцией абсолютной величины коэффициента хроматической дисперсии, крутизны кривой хроматической дисперсии, рабочих длин волн, оптической мощности и расстояния, на котором происходит смешение четырех волн.

При работе с ПМРДВ в области 1550 нм хроматическая дисперсия волокон G.652 достаточна, чтобы избежать смешивания четырех волн. Поэтому однородность хроматической дисперсии не является функциональной проблемой.

5.10 Коэффициент хроматической дисперсии

Как определено в Приложении A/G.650.1, измеряемое групповое запаздывание или коэффициент хроматической дисперсии в зависимости от длины волны подбираются с помощью трехчленного уравнения Зельмеера. (См. п. 5.5 Рек. МСЭ-Т G.650.1 для руководящих указаний по интерполяции значений дисперсии на неизмеряемых длинах волн.)

Уравнение Зельмеера может использоваться для подбора данных в каждом диапазоне (1310 нм и 1550 нм) двумя подборками по отдельности или общим подбором с данными из обоих диапазонов.

Подбор Зельмеера в области 1310 нм может быть недостаточно точным при экстраполяции на область 1550 нм. Поскольку в последней хроматическая дисперсия шире, уменьшенная точность может быть приемлемой; если же это не так, то она может быть повышена путем включения данных из области 1550 нм при осуществлении общего подбора или путем использования отдельного подбора в области 1550 нм. Следует отметить, что общий подбор может уменьшить точность в области 1310 нм.

Коэффициент хроматической дисперсии D определяется путем наложения пределов на параметры кривой хроматической дисперсии, которая является функцией длины волны в области 1310 нм. Предел коэффициента хроматической дисперсии для любой длины волны λ рассчитывается при минимальной длине волны нулевой дисперсии $\lambda_{0\min}$, максимальной длине волны нулевой дисперсии $\lambda_{0\max}$ и максимальном коэффициенте нулевой дисперсии $S_{0\max}$, в соответствии с:

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right].$$

Величины $\lambda_{0\min}$, $\lambda_{0\max}$, и $S_{0\max}$ находятся в пределах, указанных в таблицах пункта 7.

Величины коэффициента хроматической дисперсии на длинах волн от 1500 нм до 1625 нм также используются при проектировании систем или проектировании компенсатора хроматической дисперсии. Величины коэффициента хроматической дисперсии на отдельных длинах волн в этом диапазоне оцениваются путем использования либо пятичленного уравнения Зельмеера, или полиномиальной модели 4-го порядка, основанной на измерениях в этих диапазонах длин волн. Проектирование с величинами коэффициента хроматической дисперсии обычно основано на таком статистическом подходе, как, например, приведенном в Добавлении МСЭ-Т G.39. В Дополнении I перечисляются типичные величины для полосы частот около 1550 нм.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Не нужно измерять коэффициент хроматической дисперсии одномодового волокна на обычной основе.

6 Атрибуты кабеля

Поскольку геометрические и оптические характеристики волокон, данные в пункте 5, слабо затрагиваются процессом укладки кабеля, в этом пункте даются рекомендации, относящиеся, главным образом, к характеристикам передачи изготовленных в заводских условиях кабельных длин.

Наиболее важное значение имеют условия окружающей среды и испытаний, которые описываются в руководящих указаниях для методов испытаний.

6.1 Коэффициент затухания

Коэффициент затухания задается максимальной величиной на одной или более длинах волн в областях 1310 нм и 1550 нм. Величины коэффициента затухания волоконно-оптического кабеля не превышают величин, приведенных в пункте 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Коэффициент усиления может быть рассчитан по спектру длин волн на основе измерений нескольких (трех-четырёх) предсказываемых длин волн. Эта процедура описана в п. 5.4.4. Рек. МСЭ-Т G.650.1, пример дан в Дополнении III к Рек. МСЭ-Т G.650.1.

6.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии

Не во все таблицы включены требования по PMD. При необходимости поляризационная модовая дисперсия задается на статистической основе, а не на основе отдельного волокна. Требования относятся только к сигналу линии, рассчитанной на основе информации о кабеле. Метрики статистической спецификации приведены ниже. С методами расчетов, кратко изложенными в Дополнении IV, можно ознакомиться в Технической Рекомендации МЭК 61282-3.

Изготовитель предоставляет расчетные величины линии PMD, PMD_Q , которые служат в качестве верхней границы для коэффициента PMD каскадно соединенных волоконно-оптических кабелей в пределах определенной возможной линии, состоящей из M кабельных секций. Верхняя граница определяется как уровень малой вероятности Q , являющейся вероятностью того, что величина

коэффициента объединенной PMD превышает PMD_Q . Для величин M и Q, данных в пункте 7, величина PMD_Q не превышает максимума коэффициента PMD, заданного в пункте 7.

Измерения и технические характеристики не заключенного в кабель волокна необходимы, но недостаточны для обеспечения спецификации волоконного кабеля. Максимальные расчетные величины линии, заданные для не заключенного в кабель волокна, не превышают величин, заданных для волоконного кабеля. Соотношение величин PMD для не заключенного в кабель волокна и волоконного кабеля зависит от особенностей конструкции кабеля и обработки, а также от условия связи мод не заключенного в кабель волокна. Рек. МСЭ-Т G.650.2 рекомендует для измерений PMD не заключенного в кабель волокна применение низкой связи мод, требующей слабого натяжения катушки на катушке большого диаметра.

Ограничения на распределение величин коэффициента PMD могут быть истолкованы как приблизительно эквивалентные ограничения, наложенным на статистическое изменение дифференциальной групповой задержки (ДГЗ), изменяющейся случайно во времени и в зависимости от полосы частот. Если распределение коэффициента PMD задано для волоконно-оптического кабеля, могут быть определены эквивалентные пределы изменения ДГЗ. Метрики и величины для распределения линии с ДГЗ приведены в Дополнении I.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Спецификация PMD_Q может потребоваться только в случае использования кабелей для систем, имеющих спецификацию на ДГЗ, т. е., например, спецификация на PMD_Q не применяется к системам, рекомендованным в Рек. МСЭ-Т G.957.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – PMD_Q должен быть рассчитан для различных типов кабелей, и они, как правило, должны быть рассчитаны с использованием выборочных значений PMD. Выборки берутся для кабелей аналогичной конструкции.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Спецификация PMD_Q не должна применяться к коротким кабелям, например к перемычкам, кабелям для прокладки в помещениях и отводным кабелям.

7 Таблицы рекомендуемых величин

В следующие таблицы сведены рекомендуемые значения для ряда категорий волокон, которые удовлетворяют целям настоящей Рекомендации. Эти категории в значительной степени различаются на основе требований к PMD и требований к затуханию 1383 нм. См. Дополнение I для сведения о расстояниях передачи и скоростях передачи данных, относящихся к требованиям к PMD.

Таблица 1, Атрибуты G.652.A, содержит рекомендуемые атрибуты и величины, необходимые для поддержки таких приложений, как, например, приложений до STM-16, рекомендуемых в Рек. МСЭ-Т G.957 и G.691, а также 10 Гбит/с до 40 км (Ethernet) и STM-256 для Рек. МСЭ-Т G.693.

Таблица 2, Атрибуты G.652.B, содержит рекомендуемые атрибуты и величины, необходимые для поддержки таких более высокоскоростных приложений передачи данных до STM-64, как, например, некоторых из Рек. МСЭ-Т G.691 и G.692, STM-256 для некоторых приложений в Рек. МСЭ-Т G.693 и G.959.1. В зависимости от приложения может потребоваться адаптация хроматической дисперсии.

Таблица 3, Атрибуты G.652.C, аналогична G.652.A, но допускает передачи в частях расширенных полос частот от 1360 нм до 1530 нм.

Таблица 4, Атрибуты G.652.D, аналогична G.652.B, но допускает передачи в частях расширенных полос частот от 1360 нм до 1530 нм.

Таблица 1/G.652 – Атрибуты G.652.A

| Атрибуты волокна | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Атрибут | Подробность | Значение |
| Диаметр модового пятна | Длина волны | 1310 нм |
| | Диапазон номинальных значений | 8,6–9,5 мкм |
| | Допуск | ±0,6 мкм |
| Диаметр оболочки | Номинал | 125,0 мкм |
| | Допуск | ±1 мкм |
| Эксцентриситет сердцевины | Максимум | 0,6 мкм |
| Сплюснутость оболочки | Максимум | 1,0% |
| Длина волны среза кабеля | Максимум | 1260 |
| Потери на макроизгибе | Радиус | 30 мм |
| | Число витков | 100 |
| | Максимум на 1550 нм | 0,1 дБ |
| Проверочное напряжение | Минимум | 0,69 ГПа |
| Коэффициент хроматической дисперсии | λ_{0min} | 1300 нм |
| | λ_{0max} | 1324 нм |
| | S_{0max} | 0,092 пс/нм ² × км |
| Атрибуты кабеля | | |
| Атрибут | Подробность | Значение |
| Коэффициент затухания | Максимум на 1310 нм | 0,5 дБ/км |
| | Максимум на 1550 нм | 0,4 дБ/км |
| Коэффициент PMD | M | 20 кабелей |
| | Q | 0,01% |
| | Максимальный PMD _Q | 0,5 пс/√км |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Согласно п. 6.2 максимальное значение PMD _Q для не заключенного в кабель волокна задается с тем, чтобы обеспечить первоначальное требование для PMD _Q кабеля. | | |

Таблица 2/G.652 – Атрибуты G.652.B

| Атрибуты волокна | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Атрибут | Подробность | Значение |
| Диаметр модового пятна | Длина волны | 1310 нм |
| | Диапазон номинальных значений | 8,6–9,5 мкм |
| | Допуск | ±0,6 мкм |
| Диаметр оболочки | Номинал | 125,0 мкм |
| | Допуск | ±1 мкм |
| Эксцентриситет сердцевины | Максимум | 0,6 мкм |
| Сплюсненность оболочки | Максимум | 1,0% |
| Длина волны среза кабеля | Максимум | 1260 нм |
| Потери на макроизгибе | Радиус | 30 мм |
| | Число витков | 100 |
| | Максимум на 1625 nm | 0,1 дБ |
| Проверочное напряжение | Минимум | 0,69 ГПа |
| Коэффициент хроматической дисперсии | λ_{0min} | 1300 нм |
| | λ_{0max} | 1324 нм |
| | S_{0max} | 0,092 пс/нм ² × км |
| Атрибуты кабеля | | |
| Атрибут | Подробность | Значение |
| Коэффициент затухания | Максимум на 1310 nm | 0,4 дБ/км |
| | Максимум на 1550 nm | 0,35 дБ/км |
| | Максимум на 1625 nm | 0,4 дБ/км |
| Коэффициент PMD | M | 20 кабелей |
| | Q | 0,01% |
| | Максимальный PMD _Q | 0,20 пс/√км |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Согласно п. 6.2 максимальное значение PMD _Q для не заключенного в кабель волокна задается с тем, чтобы обеспечить первоначальное требование для PMD _Q кабеля. | | |

Таблица 3/G.652 – Атрибуты G.652.C

| Атрибуты волокна | | |
|---|---|--|
| Атрибут | Подробность | Значение |
| Диаметр модового пятна | Длина волны | 1310 нм |
| | Диапазон номинальных значений | 8,6–9,5 мкм |
| | Допуск | ±0,6 мкм |
| Диаметр оболочки | Номинал | 125,0 мкм |
| | Допуск | ±1 мкм |
| Эксцентриситет сердцевины | Максимум | 0,6 мкм |
| Сплюсненность оболочки | Максимум | 1,0% |
| Длина волны среза кабеля | Максимум | 1260 нм |
| Потери на макроизгибе | Радиус | 30 мм |
| | Число витков | 100 |
| | Максимум на 1625 нм | 0,1 дБ |
| Проверочное напряжение | Минимум | 0,69 ГПа |
| Коэффициент хроматической дисперсии | λ_{0min} | 1300 нм |
| | λ_{0max} | 1324 нм |
| | S_{0max} | $0,092 \text{ пс/нм}^2 \times \text{км}$ |
| Атрибуты кабеля | | |
| Атрибут | Подробность | Значение |
| Коэффициент затухания | Максимум от 1310 нм до 1625 нм (Примечание 2) | 0,4 дБ/км |
| | Максимум на 1383 нм ±3 нм | (Примечание 3) |
| | Максимум на 1550 нм | 0,3 дБ/км |
| Коэффициент PMD | M | 20 кабелей |
| | Q | 0,01% |
| | Максимальный PMD _Q | $0,5 \text{ пс}/\sqrt{\text{км}}$ |
| <p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Согласно п. 6.2, максимальное значение PMD_Q для не заключенного в кабель волокна задается с тем, чтобы обеспечить первоначальное требование для PMD_Q кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Область этой длины волны может быть расширена до 1260 нм путем добавления наведенных потерь рассеяния Релея, равных 0,07 дБ/км, к значению затухания на 1310 нм. В этом случае длина волны среза не должна превышать 1250 нм.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Средняя выборочная величина затухания на этой длине волны не превышает максимального значения, заданного для диапазона 1310–1625 нм, после изнашивания с применением водорода в соответствии с МЭК 60793-2-50 в отношении категории волокна В1.3.</p> | | |

Таблица 4/G.652 – Атрибуты G.652.D

| Атрибуты волокна | | |
|--|---|-------------------------------|
| Атрибут | Подробность | Значение |
| Диаметр модового пятна | Длина волны | 1310 нм |
| | Диапазон номинальных значений | 8,6–9,5 мкм |
| | Допуск | ±0,6 мкм |
| Диаметр оболочки | Номинал | 125,0 мкм |
| | Допуск | ±1 мкм |
| Эксцентриситет сердцевины | Максимум | 0,6 мкм |
| Сплюснутость оболочки | Максимум | 1,0% |
| Длина волны среза | Максимум | 1260 нм |
| Потери на макроизгибе | Радиус | 30 мм |
| | Число витков | 100 |
| | Минимум на 1625 нм | 0,1 дБ |
| Проверочное напряжение | Минимум | 0,69 ГПа |
| Коэффициент хроматической дисперсии | λ_{0min} | 1300 нм |
| | λ_{0max} | 1324 нм |
| | S_{0max} | 0,092 пс/нм ² × км |
| Атрибуты кабеля | | |
| Атрибут | Подробность | Значение |
| Коэффициент затухания | Максимум от 1310 нм до 1625 нм (Примечание 2) | 0,4 дБ/км |
| | Максимум на 1383 нм ±3 нм | (Примечание 3) |
| | Maximum at 1550 nm | 0,3 дБ/км |
| Коэффициент PMD | M | 20 кабелей |
| | Q | 0,01% |
| | Максимальный PMD _Q | 0,20 пс/√км |
| <p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Согласно п. 6.2 максимальное значение PMD_Q для не заключенного в кабель волокна задается с тем, чтобы обеспечить первоначальное требование для PMD_Q кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Область этой длины волны может быть расширена до 1260 нм путем добавления наведенных потерь рассеяния Релея, равных 0,07 дБ/км, к значению затухания на 1310 нм. В этом случае длина волны среза не должна превышать 1250 нм.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Средняя выборочная величина затухания на этой длине волны не превышает максимального значения, заданного для диапазона 1310–1625 нм, после изнашивания с применением водорода в соответствии с МЭК 60793-2-50 в отношении категории волокна В1.3.</p> | | |

Дополнение I

Информация для атрибутов линии и разработки систем

Как правило, соединенная линия состоит из ряда сращенных длин волоконно-оптического кабеля, изготовленных в заводских условиях. Требования для изготовленных в заводских условиях длин даны в пунктах 5 и 6. Параметры передачи для каскадно соединенных линий должны учитывать не только показатели работы отдельных длин кабеля, но также статистику объединения.

Характеристики передачи изготовленных в заводских условиях длин волоконно-оптического кабеля будут иметь некоторое распределение вероятности, которое часто необходимо учитывать для обеспечения наиболее выгодного с экономической точки зрения проектирования. Следующие пункты этого Дополнения следует читать, имея в виду статистическую природу различных параметров.

Кроме волоконно-оптических кабелей на атрибуты линии влияют, например, места сращивания, соединители и установка. Эти факторы не могут быть заданы в этой Рекомендации. В целях оценки значений атрибутов линии в приведенных ниже таблицах предоставляются типичные значения волоконно-оптических линий. Методы оценки параметров, необходимые для проектирования систем, основаны на измерениях, моделировании и других соображениях.

I.1 Затухание

Затухание A линии составляет:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y,$$

где:

- α типичный коэффициент затухания волоконных кабелей в линии;
- α_s средние потери в месте сращивания;
- x число мест сращивания в линии;
- α_c средние потери на линейных соединителях;
- y число линейных соединителей в линии (если предусматриваются);
- L длина линии.

Должен быть выделен подходящий запас на будущие изменения конфигураций кабеля (дополнительные места сращивания, добавочные кабельные длины, влияние старения, изменения температуры и т. д.). Приведенное выше уравнение не включает потерь на соединителях оборудования. Типичные значения для коэффициента затухания волоконно-оптических линий приведены в п. 1.5. Используемый при проектировании современной системы ресурс затухания должен учитывать статистические изменения в этих параметрах.

I.2 Хроматическая дисперсия

Хроматическая дисперсия, выражаемая в пс/нм, может быть рассчитана на основе коэффициентов хроматической дисперсии изготовленных в заводских условиях кабельных длин в предположении наличия линейной зависимости от длины и с надлежащим учетом знаков коэффициентов (см. п. 5.10).

При использовании этих волокон для передачи в области 1550 нм часто используются некоторые виды компенсации хроматической дисперсии. В этом случае при проектировании применяется средняя хроматическая дисперсия линии. Измеряемую дисперсию в окне 1550 нм можно охарактеризовать в пределах этого окна линейным соотношением с длиной волны. Соотношение описывается через коэффициент хроматической дисперсии и коэффициент крутизны дисперсии на 1550 нм.

Типичные значения для коэффициента хроматической дисперсии D_{1550} и коэффициента крутизны хроматической дисперсии S_{1550} на 1550 нм приведены в п. I.1. Эти величины вместе с длиной линии L_{Link} могут быть использованы для расчета типичной хроматической дисперсии, применяемой при проектировании оптической линии:

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \text{ (пс/нм)}.$$

I.3 Дифференциальная групповая задержка (ДГЗ)

Дифференциальная групповая задержка – это разница во времени прихода двух поляризационных мод на данной длине волны и в данный момент времени. Для линии с конкретным коэффициентом PMD дифференциальная групповая задержка линии изменяется случайным образом в зависимости от времени и длины волны в виде распределения Максвелла, содержащего единственный параметр, являющийся произведением коэффициента PMD линии и квадратного корня из длины линии. Ухудшение системы из-за PMD в конкретное время и на конкретной длине волны зависит от ДГЗ в это время и на этой волне. Таким образом, имеется в виду установление практических пределов, разработанных и документированных в Технической Рекомендации МЭК 61282-3 и кратко изложенных в Дополнении IV к Рек. МСЭ-Т G.650.2, на распределении ДГЗ, поскольку оно имеет отношение к распределению коэффициента PMD волоконно-оптического кабеля. Метрики ограничений распределения ДГЗ вытекают из:

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определение вклада элементов, кроме волоконно-оптического кабеля, не входит в сферу применения настоящей Рекомендации, но обсуждалось в Технической Рекомендации МЭК 61282-3.

Эталонной длины линии L_{Ref} : максимальной длины линии, к которой применяется максимальная ДГЗ. Для более протяженных длин следует умножить ДГЗ на квадратный корень из отношения фактической длины к эталонной длине.

Типичной максимальной длины кабеля L_{Cab} : максимумы обеспечиваются, если типичные отдельные кабели в каскадном соединении или длины кабелей, которые измеряются при определении распределения коэффициента PMD, меньше этой величины.

Максимальных ДГЗ, $ДГЗ_{max}$: значения ДГЗ, которое используется при рассмотрении проектирования оптической системы.

Максимальной вероятности P_F : вероятности того, что фактическая величина ДГЗ превышает $ДГЗ_{max}$.

I.4 Коэффициент нелинейности

Явление хроматической дисперсии находится во взаимодействии с коэффициентом нелинейности n_2/A_{eff} в отношении ухудшения работы системы, вызванного нелинейными оптическими эффектами (см. Рек. МСЭ-Т G.663 и G.650.2). Типичные значения изменяются при внедрении.

I.5 Таблицы величин общего типа

Величины в таблицах I.1 и I.2 являются типичными для каскадно соединенных волоконно-оптических линий согласно пунктам I.1 и I.3, соответственно. Предполагаемые величины внесенной максимальной ДГЗ волокна, приведенные в таблице I.2, предназначены для сведения в отношении требований к другим оптическим элементам, которые могут находиться на линии.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Длина кабельной секции составляет 10 км, за исключением случая линии протяженностью $0,10 \text{ пс}/\sqrt{\text{км}} / > 4000 \text{ км}$, для которой длина устанавливается равной 25 км, уровень вероятности ошибки составляет $6,5 \times 10^{-8}$.

Таблица I.1/G.652 – Типичная величина каскадно соединенных волоконно-оптических линий

| Коэффициент затухания | Область длины волны | Типичная величина линии |
|---|----------------------------|--------------------------------|
| (Примечание) | 1260 нм – 1360 нм | 0,5 дБ/км |
| | 1530 нм – 1565 нм | 0,275 дБ/км |
| | 1565 нм – 1625 нм | 0,35 дБ/км |
| Коэффициент хроматической дисперсии | D_{1550} | 17 пс/нм × км |
| | S_{1550} | 0,056 пс/нм ² × км |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Типичная величина линии соответствует коэффициенту затухания линии, используемому в Рек. МСЭ-Т G.957 и G.691. | | |

Таблица I.2/G.652 – Дифференциальная групповая задержка

| Максимальная PMD_Q (пс/√км) | Протяженность линии (км) | Предполагаемая внесенная максимальная ДГЗ волокна (пс) | Скорости передачи двоичной информации в канале |
|--|-------------------------------------|---|---|
| Не специфицируется | | | До 2,5 Гбит/с |
| 0,5 | 400 | 25,0 | 10 Гбит/с |
| | 40 | 19,0 (Примечание) | 10 Гбит/с |
| | 2 | 7,5 | 40 Гбит/с |
| 0,20 | 3 000 | 19,0 | 10 Гбит/с |
| | 80 | 7,0 | 40 Гбит/с |
| 0,10 | > 4 000 | 12,0 | 10 Гбит/с |
| | 400 | 5,0 | 40 Гбит/с |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Эта величина применяется также для систем Ethernet со скоростью 10 Гбит/с. | | | |

БИБЛИОГРАФИЯ

- IEC/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*
- IEC 60793-2 (2003), *Optical fibres – Part 2: Product specifications.*

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

| | |
|----------------|---|
| Серия А | Организация работы МСЭ-Т |
| Серия D | Общие принципы тарификации |
| Серия E | Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы |
| Серия F | Нетелефонные службы электросвязи |
| Серия G | Системы и среда передачи, цифровые системы и сети |
| Серия H | Аудиовизуальные и мультимедийные системы |
| Серия I | Цифровая сеть с интеграцией служб |
| Серия J | Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов |
| Серия K | Защита от помех |
| Серия L | Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений |
| Серия M | Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей |
| Серия N | Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ |
| Серия O | Требования к измерительной аппаратуре |
| Серия P | Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий |
| Серия Q | Коммутация и сигнализация |
| Серия R | Телеграфная передача |
| Серия S | Оконечное оборудование для телеграфных служб |
| Серия T | Оконечное оборудование для телематических служб |
| Серия U | Телеграфная коммутация |
| Серия V | Передача данных по телефонной сети |
| Серия X | Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность |
| Серия Y | Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевых протоколов и сети последующих поколений |
| Серия Z | Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи |