



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.653

(12/2006)

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

Характеристики среды передачи и оптических
систем – Волоконно-оптические кабели

**Характеристики одномодового оптического
волокна и кабеля со сдвигом дисперсии**

Рекомендация МСЭ-Т G.653

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 И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ | 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.639 |
| Оптические системы в свободном пространстве | G.640–G.649 |
| Волоконно-оптические кабели | G.650–G.659 |
| Характеристики оптических компонентов и подсистем | G.660–G.679 |
| Характеристики оптических систем | G.680–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 |
| АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ | 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.653

Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со сдвигом дисперсии

Резюме

В данной Рекомендации описываются геометрические, механические атрибуты и атрибуты передачи оптического волокна и кабеля с длиной волны, имеющей нулевую дисперсию, сдвинутую в область волн длиной 1550 нм. Это последняя версия Рекомендации, впервые выпущенной в 1988 году.

В настоящем пересмотре дается разъяснение характеристик хроматической дисперсии в таблице 2 (Рек. МСЭ-Т G.653.B). Данная категория ограничивает коэффициент хроматической дисперсии парой связанных кривых в зависимости от длины волны в диапазоне от 1460 до 1625 нм. Распространение на эти длины волн имеет целью предоставление информации для обеспечения грубого мультиплексирования с разделением по длине волны, которое не имеет значительных нелинейных искажений.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.653 утверждена 14 сентября 2006 года 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

История

- | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1988 год | Версия 1. |
| 1993 год | Версия 2. |
| 1997 год | Версия 3. |
| 2000 год | Версия 4. В настоящем пересмотре изменена структура Рекомендации, в соответствии с другими рекомендациями по оптическим волокнам, например G.652, G.654 и G.655. |
| 2003 год | Версия 5. В настоящем пересмотре для облегчения понимания изменено описание коэффициента хроматической дисперсии. Также, в соответствии с согласием, достигнутым в отношении описания полосы спектра, верхний предел диапазона L изменен с 16xx нм до 1625 нм. Термины базовой подкатегории и подкатегории приведены к уровню базовой категории и категории, соответственно. Создана новая категория, в которой снижен предел ПМД (по сравнению с 0,5 пс/√км) (G.653.B). В случае испытания на макроизгибы диаметр сердцевины уменьшен до 30 мм в радиусе. |
| 2006 год | Версия 6. В соответствии с информацией, имеющейся по другим Вопросам, в таблице 2 (G.653.B) вместо "прямоугольных" характеристик были применены ограничивающие кривые коэффициента хроматической дисперсии. В таблице 2 в целях обеспечения соответствия Рекомендациям МСЭ-Т G.652 (2005 г.) и G.655 (2006 г.) были обновлены и другие атрибуты. |

Как показано выше, за прошедшие годы настоящая Рекомендация была существенно изменена; поэтому читатель предупрежден о необходимости рассматривать надлежащую версию для определения характеристик уже развернутого продукта с учетом года производства. В действительности, продукты предполагаются соответствующими действующей на время их производства Рекомендации, но, возможно, не полностью соответствуют последующим версиям Рекомендации.

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 I 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 по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2007

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

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 Сфера применения | 1 |
| 2 Справочные документы | 1 |
| 2.1 Нормативные справочные документы | 1 |
| 2.2 Информационные справочные документы | 2 |
| 3 Термины и определения | 2 |
| 4 Сокращения | 2 |
| 5 Атрибуты волокна | 3 |
| 5.1 Диаметр модового поля | 3 |
| 5.2 Диаметр оболочки | 3 |
| 5.3 Погрешность концентричности модового поля | 3 |
| 5.4 Некруглость | 3 |
| 5.5 Длина волны среза | 3 |
| 5.6 Затухание на макроизгибах | 4 |
| 5.7 Свойства материалов волокна | 4 |
| 5.8 Профиль показателя преломления | 4 |
| 5.9 Линейная однородность хроматической дисперсии | 4 |
| 5.10 Коэффициент хроматической дисперсии | 5 |
| 6 Параметры кабеля | 6 |
| 6.1 Коэффициент затухания | 6 |
| 6.2 Коэффициент дисперсии моды поляризации (ДМП) | 6 |
| 7 Таблица рекомендованных значений | 7 |
| Дополнение I – Информация по параметрам линии и проектированию системы | 10 |
| I.1 Затухание | 10 |
| I.2 Хроматическая дисперсия | 10 |
| I.3 Дифференциальная групповая задержка (ДГЗ) | 11 |
| I.4 Коэффициент нелинейности | 11 |
| I.5 Таблица типовых значений | 11 |
| I.6 Пределы коэффициента хроматической дисперсии для таблицы 2 | 12 |
| БИБЛИОГРАФИЯ | 14 |

Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со сдвигом дисперсии

1 Сфера применения

В данной Рекомендации описываются одномодовое волоконно-оптическое волокно и кабель с номинальной длиной волны, имеющей нулевую дисперсию, близкой к 1550 нм и коэффициентом дисперсии, который равномерно растет с увеличением длины волны. Это волокно оптимизировано для использования для длин волн вблизи области 1310 нм при условии выполнения ограничений, описанных в данной Рекомендации. Приведены некоторые сведения относительно обеспечения передачи на больших длинах волн – до 1625 нм и меньших длинах волн - до 1460 нм. На этих длинах волн можно определить значения коэффициента хроматической дисперсии для поддержки систем грубого мультиплексирования с разделением по длине волны (ГМРДВ), которые не вносят существенных искажений из-за нелинейных эффектов. Геометрические, оптические, механические параметры, а также параметры передачи описываются далее в составе трех категорий параметров:

- характеристики волокна – это те атрибуты, которые не меняются в процессе производства и прокладки кабеля;
- параметры кабеля – это те атрибуты, по которым выбираются готовые кабели;
- параметры линии – это характеристики объединенных кабелей, описывающие методы оценки параметров интерфейса системы, основанные на результатах измерений, моделировании или других соображениях. Информация по параметрам линии и проектированию системы приведена в Дополнении I.

Настоящая Рекомендация и различные категории показателей работы, представленные в таблицах в п. 7, предназначены для поддержки следующих относящихся к ним системных рекомендаций:

- G.957;
- G.691;
- G.692;
- G.693;
- G.959.1;
- G.977;
- G.695;
- G.698.1.

Значение терминов, используемых в данной Рекомендации и руководящих указаниях, которые должны соблюдаться при проведении измерений для проверки различных характеристик, приведены в Рекомендациях МСЭ-Т [G.650.1] и [G.650.2]. Характеристики волокна, включая определения соответствующих параметров, методы их измерения и соответствующие значения будут уточняться в процессе исследований и накопления опыта.

2 Справочные документы

2.1 Нормативные справочные документы

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.

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

2.2 Информационные справочные документы

Следующие Рекомендации МСЭ-Т содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют другую необходимую информацию.

- [G.663] ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- [G.691] Рекомендация МСЭ-Т G.691 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для одноканальных STM-64 и других систем СЦИ с оптическими усилителями.*
- [G.692] ITU-T Recommendation G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- [G.693] Рекомендация МСЭ-Т G.693 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для внутростанционных систем.*
- [G.695] ITU-T Recommendation G.695 (2006), *Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.*
- [G.698.1] ITU-T Recommendation G.698.1 (2006), *Multichannel DWDM applications with single-channel optical interfaces.*
- [G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- [G.959.1] ITU-T Recommendation G.959.1 (2006), *Optical transport network physical layer interfaces.*
- [G.977] ITU-T Recommendation G.977 (2006), *Characteristics of optically amplified optical fibre submarine cable systems.*

3 Термины и определения

Для целей данной Рекомендации применяются определения, изложенные в [G.650 .1] и [G.650 .2]. До оценки соответствия значения следует округлить до числа цифр, указанного в таблицах рекомендованных величин.

4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

| | | | |
|------------------|-----------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------|
| CWDM | Coarse Wavelength Division Multiplexing | ГМРДВ | Грубое мультиплексирование с разделением по длине волны |
| DGD | Differential Group Delay | ГПа | Гигапаскаль |
| GPa | GigaPascal | ДГЗ | Дифференциальная групповая задержка |
| PMD | Polarization Mode Dispersion | ДМП | Дисперсия моды поляризации |
| PMD _Q | Statistical parameter for link PMD | PMD _Q | Статистический параметр для ДМП линии |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy | МРДВ | Мультиплексирование с разделением по длине волны |
| TBD | To be determined | СЦИ | Синхронная цифровая иерархия |
| WDM | Wavelength Division Multiplexing | TBD | Требуется определить |

5 Атрибуты волокна

В данном разделе рекомендуются только те характеристики волокон, которые обеспечивают минимально необходимые для проектирования основы в целях их производства. Диапазоны или предельные значения приведены в таблицах п. 7. Из числа этих характеристик длина волны среза волокна в кабеле и ДМП могут существенно изменяться в процессе производства или при прокладке кабеля. Остальные рекомендуемые характеристики будут в равной мере относиться к отдельным волокнам, волокнам в кабеле, намотанном на барабан, и волокнам в проложенном кабеле.

5.1 Диаметр модового поля

Номинальное значение и допуск на это номинальное значение должны устанавливаться при длине волны 1550 нм. Такое номинальное значение будет лежать в диапазоне, определенном в п. 7. Указанный допуск не должен превышать значения, определенного в п. 7. Отклонение от номинального значения не должно превышать заданного допуска.

5.2 Диаметр оболочки

Рекомендуемое номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Определен также и допуск, и он не должен превышать значения, указанного в п. 7. Отклонение диаметра оболочки от номинального значения не должно превышать заданного допуска.

5.3 Погрешность концентричности модового поля

Погрешность концентричности модового поля не должна превышать значения, определенного в п. 7.

5.4 Некруглость

5.4.1 Некруглость модового поля

На практике некруглость модового поля волокон, имеющих номинально круглые модовые поля, достаточно мала и не влияет на распространение и сращивание. Поэтому считается необязательным рекомендовать какое-либо конкретное значение для некруглости модового поля. Как правило, необязательно измерять эту некруглость при приемочных испытаниях.

5.4.2 Некруглость оболочки

Некруглость оболочки поля не должна превышать значения, определенного в п. 7.

5.5 Длина волны среза

Можно выделить три полезных 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} .

Соотношение измеренных значений λ_c , λ_{cc} и λ_{cj} зависит от конкретного волокна и конструкции кабеля, а также от условий измерений. Как правило, $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, но количественное соотношение установить трудно. Чрезвычайно важно обеспечить одномодовую передачу при минимальной длине кабеля между стыками. Этого можно добиться, когда рекомендованная максимальная длина волны среза кабеля λ_{cc} в кабельном одномодовом волокне равна 1270 нм, или для типовых кабельных перемычек при рекомендованной максимальной длине волны среза кабельной перемычки, равной 1270 нм, или при наихудшем варианте длины кабеля и изгибах при рекомендованной максимальной длине волны среза волокна λ_c .

Длина волны среза кабеля λ_{cc} не должна превышать максимума, определенного в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для некоторых специфических подводных кабельных линий могут требоваться другие значения длины волны среза кабеля.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для обеспечения одномодовой передачи в диапазоне 1310 нм при любом допустимом сочетании рабочей длины волны системы, длины кабеля и условий его прокладки приведенной выше

рекомендации недостаточно. В случае передачи в диапазоне 1310 им должны быть установлены приемлемые ограничения на значения λ_c или λ_{cc} , при этом должно быть обращено внимание на уменьшение влияния модового шума в кабелях минимальной длины между восстановительными стыками и кабельными переключками.

5.6 Затухание на макроизгибах

Затухание на макроизгибах изменяется с изменением длины волны, радиуса изгиба, числа витков вокруг сердечника определенного радиуса. Затухание на микроизгибах не должно превышать максимума, определенного в п. 7 для конкретных значений длины волны, радиуса изгиба и числа витков.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Чтобы убедиться в выполнении данного требования, может быть достаточно провести квалификационные испытания.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Указанное число витков соответствует приблизительному числу витков, которые используются во всех муфтах для сращивания на типовом регенерационном участке. Рекомендованный радиус эквивалентен минимальному радиусу изгиба, принятому для перспективного применения волокон в используемых на практике системах во избежание отказов из-за статической усталости.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Если по практическим соображениям для выполнения этого испытания используется число витков меньше рекомендованного, то предлагается использовать не менее 40 витков, и потребуются пропорционально меньший рост затухания.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Рекомендация, касающаяся затухания на микроизгибах, относится к прокладке волокон в практических устройствах для одномодовых волокон. Влияние радиусов изгиба, связанных со скручиванием одномодовых волокон в кабель, на показатели работы при затухании включается в характеристику затухания волокна в кабеле.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – В случае необходимости проведения плановых испытаний вместо рекомендованного испытания может выполняться испытание с петлей малого диаметра и одним или несколькими витками для обеспечения точности и легкости измерений. В этом случае диаметр петли, число витков и максимально допустимое затухание вследствие изгиба при выполнении испытаний с несколькими витками должны выбираться таким образом, чтобы соответствовать рекомендованному и допустимому испытанию.

5.7 Свойства материалов волокна

5.7.1 Материалы волокна

Необходимо указывать материалы, используемые при производстве волокна.

ПРИМЕЧАНИЕ. – При сварке волокон, выполненных из различных материалов, необходимы меры предосторожности. Предварительные результаты показывают, что приемлемые потери и прочность соединений можно получить при сращивании волокон с высоким содержанием кремния.

5.7.2 Защитные материалы

Необходимо указывать физические и химические свойства материала, используемого для первичного покрытия волокна, а также наилучший способ его снятия (в случае необходимости). Аналогичные указания следует давать и в случае однослойного покрытия волокон.

5.7.3 Уровень напряжения растяжения

Напряжение растяжения σ_r не должно быть меньше минимального значения, указанного в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определение механических параметров дается в пп. 3.2 и 5.6 [G.650.1].

5.8 Профиль показателя преломления

Как правило, нет необходимости знать профиль показателя преломления волокна.

5.9 Линейная однородность хроматической дисперсии

Вопрос находится в стадии изучения.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для конкретной длины волны местное абсолютное значение коэффициента дисперсии может отличаться от значения, измеренного для большой длины. Если это значение уменьшается и становится совсем небольшим при длине волны, близкой к рабочей длине волны в системе МРДВ, смешивание четырех сигналов может стимулировать распространение энергии при других значениях длины волны, включая другие рабочие длины волны, но не ограничиваясь ими. Амплитуда мощности при смешивании четырех сигналов

зависит от абсолютного значения коэффициента дисперсии, крутизны дисперсии, значений рабочих длин волн, оптической мощности и расстояния, на котором происходит смешивание четырех сигналов.

5.10 Коэффициент хроматической дисперсии

Измеренная групповая задержка или хроматическая дисперсия для единичной длины волокна в зависимости от длины волны должны описываться квадратным уравнением, описанным в Приложении А к [G.650.1]. (См. п. 5.5 [G.650.1] для руководства по интерполяции значений дисперсии на неизмеренные длины волн.)

В зависимости от требований к точности при интервалах длин волн до 35 нм допускается использование квадратного уравнения в области 1550 нм. В случае более длинных интервалов рекомендуется либо пятичленная формула Селлмейера или полиномиальная модель четвертого порядка. Она не предназначена для использования в области длин волн 1310 нм.

Для определения пределов существует два метода – первоначально использовавшийся метод "прямоугольных" характеристик и новый метод, в котором два значения коэффициента дисперсии ограничены парой кривой.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Не требуется измерять в рабочем порядке коэффициент хроматической дисперсии и длину волны с нулевой дисперсией.

5.10.1 Исходный вид характеристики

Данный вид характеристики относится к таблице 1 в п. 7.

Коэффициент хроматической дисперсии $D(\lambda)$ определяется в пределах диапазона длин волн путем указания допустимых абсолютных значений коэффициента хроматической дисперсии. Характеристика имеет следующий вид:

$$|D(\lambda)| \leq D_{\max} \text{ для } \lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max},$$

где

$$1525 \text{ нм} \leq \lambda_{\min} \leq \lambda_{\max} \leq 1575 \text{ нм}.$$

В то же время длина волны с нулевой дисперсией λ_0 и спад при нулевой дисперсии S_0 определяются следующими уравнениями:

$$\lambda_{0\min} \leq \lambda_0 \leq \lambda_{0\max}$$

$$S_0 \leq S_{0\max}.$$

Значения для D_{\max} , λ_{\min} , λ_{\max} , $\lambda_{0\min}$, $\lambda_{0\max}$ и $S_{0\max}$ должны находиться в пределах диапазона, заданного в п. 7.

5.10.2 Характеристика на основе пары ограничивающих кривых

Данная характеристика относится к таблице 2 в п. 7.

Для каждой длины волны λ коэффициент хроматической дисперсии $D(\lambda)$ должен быть ограничен диапазоном значений, связанных с двумя ограничивающими кривыми $D_{\min}(\lambda)$ и $D_{\max}(\lambda)$ в определенной диапозоне длин волн $\lambda_{\min} - \lambda_{\max}$. Кроме того, пределы дисперсии могут быть заданы в явном виде для одной или нескольких длин волн.

Примерный набор кривых символически представляет собой пару прямых линий:

$$D_{\min}(\lambda) = a_{\min} + b_{\min} (\lambda - 1525) \quad (\text{пс/нм} \cdot \text{км})$$

$$D_{\max}(\lambda) = a_{\max} + b_{\max} (\lambda - 1575) \quad (\text{пс/нм} \cdot \text{км})$$

$$D_{\min}(\lambda) \leq D(\lambda) \leq D_{\max}(\lambda) \quad (\text{пс/нм} \cdot \text{км})$$

Ограничивающие кривые могут изменяться в зависимости от длины волны.

6 Параметры кабеля

Поскольку геометрические и оптические характеристики волокон, приведенные в п. 5, практически не изменяются в процессе прокладки кабеля, в данном пункте даются рекомендации, которые в основном относятся к характеристикам передачи строительных длин кабеля.

Очень важны условия окружающей среды и условия, в которых выполняются измерения; их описание приведено в руководящих указаниях по методам измерения.

6.1 Коэффициент затухания

Коэффициент затухания определяется максимальным значением на одной или нескольких длинах волн в области 1550 нм. Если кабели предназначены для применения с длинами волн в регионе 1300 нм, то их коэффициент затухания в этом регионе, как правило, менее 0,55 дБ/км. Коэффициент затухания волоконно-оптического кабеля не должен превышать значений, указанных в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Коэффициент затухания может быть рассчитан по спектру длин волн на основе измерений, выполненных на нескольких (3–4) прогнозируемых длинах волн. Данная процедура описана в п. 5.4 [G.650.1], а в Приложении III к [G.650.1] приведен пример для волокна G.652.

6.2 Коэффициент дисперсии моды поляризации (ДМП)

В случае необходимости дисперсия моды поляризации кабельного волокна должна определяться статистически, а не для каждого отдельного волокна. Это требование относится только к параметрам линии, рассчитанным по информации о кабеле. Метрические значения статистической спецификации приводятся далее. Методики расчетов определены в документе ИЕС 61282-3 и кратко изложены в Приложении IV к [G.650.2].

Производитель должен указывать проектное значение ДМП линии PMD_Q , которое является верхней статистической границей коэффициента ДМП объединенных волоконно-оптических кабелей в пределах определенной возможной линии из M кабельных участков. Эта верхняя граница определяется в значениях малого уровня вероятности Q , которая представляет собой вероятность того, что объединенный коэффициент ДМП превзойдет величину PMD_Q . Для значений M и Q , приведенных в п. 7, величина PMD_Q не должна превышать максимального значения коэффициента ДМП, указанного в п. 7.

Измерения и характеристики свободного волокна необходимы, но не достаточны для того, чтобы гарантировать характеристики волокна в кабеле. Максимальное значение для проектирования линии, определенное для свободного волокна, должно быть меньше или равно значению, определенному для волокна в кабеле. Отношение значений ДМП свободного волокна к значениям для волокна в кабеле зависит от деталей конструкции кабеля и обработки, а также условий связи мод в свободном волокне. В [G.650.2] рекомендуется обеспечивать расположение волокон при слабой связи мод, что требует намотки с небольшим натяжением на катушке большого диаметра при проведении измерений ДМП свободного волокна.

Пределы разброса значений коэффициента ДМП можно считать почти равными пределам статистического изменения дифференциальной групповой задержки (ДГЗ), которая изменяется случайным образом с изменением времени и длины волны. Когда для волоконно-оптического кабеля определен разброс значений коэффициента ДМП, можно определить эквивалентные пределы изменения ДГЗ. Метрики и значения пределов разброса ДГЗ в линии приводятся в Дополнении I.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Характеристика PMD_Q может потребоваться только в случае, когда кабели используются для систем, которые имеют характеристику максимальной ДМП; например, характеристика PMD_Q не будет применяться к системам, рекомендованным в [G.957].

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – PMD_Q должна рассчитываться для различных типов кабелей, которые обычно рассчитываются с использованием выборочных значений ДМП. Берутся выборки, полученные для кабелей аналогичной конструкции.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Характеристика PMD_Q не должна применяться к коротким кабелям, таким как перемычки, кабели в помещениях и абонентские отводы.

7 Таблица рекомендованных значений

Приведенные ниже таблицы содержат рекомендованные значения для ряда категорий волокон, которые отвечают требованиям настоящей Рекомендации. Эти категории существенно отличаются от базовых требований к ДМП и характеристик хроматической дисперсии. Информация о расстояниях передачи и скоростях передачи данных, связанных с требованием к ДМП, содержится в Дополнении I. В таблице 1 "Атрибуты G.653.A" приведены данные в отношении базовой категории одномодовых волокон и кабелей со сдвигом дисперсии и сохранена исходная "прямоугольная" характеристика коэффициента дисперсии. Данная категория пригодна для систем, описанных в [G.691], [G.692], [G.693], [G.957] и [G.977], с неравным разносом каналов в области длин волн 1550 нм.

Эта категория может использоваться во многих приложениях подводной кабельной связи. Для ряда таких приложений полная оптимизация может привести к выбору пределов, отличных от указанных здесь. Например, можно допустить применение кабеля с длинами волны среза, достигающими величины 1500 нм.

Таблица 2 "Атрибуты G.653.B" аналогична таблице с атрибутами G.653.A, однако более строгие требования к ДМП допускают в системах STM-64 расстояния больше 400 км и приложения STM-256 G.959.1.

Таблица 2 "Атрибуты G.653.B" определяет требования к коэффициенту хроматической дисперсии парой ограничивающих кривых в зависимости от длины волны для длин волн от 1460 нм до 1625 нм. Данная категория может поддерживать приложения ГМРДВ, а также упомянутые в таблице 1. Требования к ДМП позволяют системам STM-64 работать на расстояния больше 400 км и использовать приложения STM-256 G.959.1.

Таблица 1/G.653 – Атрибуты G.653.A

| Атрибуты волокна | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Атрибут | Подробности | Значение |
| Диаметр модового поля | Длина волны | 1 550 нм |
| | Диапазон номинальных значений | 7,8–8,5 мкм |
| | Допуск | ±0,8 мкм |
| Диаметр оболочки | Номинал | 125 мкм |
| | Допуск | ±1 мкм |
| Погрешность concentричности сердцевины | Максимум | 0,8 мкм |
| Некруглость оплетки | Максимум | 2,0% |
| Длина волны среза кабеля | Максимум | 1 270 нм |
| Затухание на микроизгибах | Радиус | 30 мм |
| | Число витков | 100 |
| | Максимум на длине волны 1 550 нм | 0,5 дБ |
| Напряжение растяжения | Минимум | 0,69 ГПа |
| Коэффициент хроматической дисперсии | λ_{\min} | 1 525 нм |
| | λ_{\max} | 1 575 нм |
| | D_{\max} | 3,5 пс/(нм × км) |
| | $\lambda_{0\min}$ | 1 500 нм |
| | $\lambda_{0\max}$ | 1 600 нм |
| | $S_{0\max}$ | 0,085 пс/(нм ² × км) |
| Коэффициент ДМП свободного волокна | Максимум | (Примечание) |
| Атрибуты кабеля | | |
| Атрибут | Подробности | Значение |
| Коэффициент затухания | Максимум на длине волны 1 550 нм | 0,35 дБ/км |
| Коэффициент ДМП | M | 20 кабельн. участков |
| | Q | 0,01% |
| | Максимум PMD _Q | 0,5 пс/√км |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – В соответствии с 6.2, указывается максимальное значение PMD _Q свободного волокна для поддержки основного требования к PMD _Q кабеля. | | |

Таблица 2/G.653 – Атрибуты G.653.B

| Атрибуты волокна | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Атрибут | Подробности | Значение |
| Диаметр модового поля | Длина волны | 1 550 нм |
| | Диапазон номинальных значений | 7,8–8,5 мкм |
| | Допуск | ± 0,6 мкм |
| Диаметр оболочки | Номинал | 125 мкм |
| | Допуск | ±1 мкм |
| Погрешность концентричности сердцевины | Максимум | 0,6 мкм |
| Некруглость оплетки | Максимум | 1,0% |
| Длина волны среза кабеля | Максимум | 1 270 нм |
| Затухание на микроизгибах | Радиус | 30 мм |
| | Число витков | 100 |
| | Максимум на длине волны 1 550 нм | 0,1 дБ |
| Напряжение растяжения | Минимум | 0,69 ГПа |
| Коэффициент хроматической дисперсии (пс/нм × км) | $D_{\min}(\lambda): 1\ 460\text{--}1\ 525\ \text{нм}$ | $0,085 * (\lambda - 1\ 525) - 3,5$ |
| | $D_{\min}(\lambda): 1\ 525\text{--}1\ 625\ \text{нм}$ | $3,5/75 * (\lambda - 1\ 600)$ |
| | $D_{\max}(\lambda): 1\ 460\text{--}1\ 575\ \text{нм}$ | $3,5/75 * (\lambda - 1\ 500)$ |
| | $D_{\max}(\lambda): 1\ 575\text{--}1\ 625\ \text{нм}$ | $0,085 * (\lambda - 1\ 575) + 3,5$ |
| Коэффициент ДМП свободного волокна | Максимум | (Примечание) |
| Атрибуты кабеля | | |
| Атрибут | Подробности | Значение |
| Коэффициент затухания | Максимум на длине волны 1 550 нм | 0,35 дБ/км |
| Коэффициент ДМП | M | 20 кабельн. участков |
| | Q | 0,01% |
| | Максимум PMD_Q | 0,20 пс/√км |
| <p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В соответствии с 6.2, указывается максимальное значение PMD_Q свободного волокна для поддержки основного требования к PMD_Q кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Производитель и пользователь могут согласовать большие значения PMD_Q (например, $\leq 0,5$ пс/√км) для конкретных приложений.</p> | | |

Дополнение I

Информация по параметрам линии и проектированию системы

Как правило, составная линия состоит из нескольких сращенных строительных длин кабеля. Требования, предъявляемые к строительным длинам кабеля, приведены в пп. 5 и 6. Параметры передачи для элементарных кабельных участков должны учитывать не только рабочие характеристики отдельных длин кабеля, но также статистические параметры соединения.

Характеристикам передачи волокон строительной длины свойственно определенное распределение вероятностей, которое должно приниматься во внимание, для того чтобы получить наиболее экономичные конструкции. Поэтому нижеследующие пункты данного приложения следует читать, имея в виду статистический характер различных параметров.

На значения атрибутов линии влияют также факторы, не связанные с параметрами оптических кабелей, например характеристики сращивания, соединителей и прокладки. Эти факторы не могут быть определены в данной Рекомендации. Для оценки значений параметров линии в п. I.5 приведены типичные значения для волоконно-оптических линий.

Приводится метод оценки параметров волокна, необходимой для проектирования линии, основанный на результатах измерений, моделирования или иных действиях.

I.1 Затухание

Затухание A линии определяется по формуле:

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

где:

α – типовой коэффициент затухания волокна кабеля в линии;

L – длина линии;

α_s – среднее затухание на сростках;

x – число сростков на линии;

α_c – среднее затухание, обусловленное линейными соединителями;

y – число линейных соединителей на линии (если таковые имеются).

Необходимо предусмотреть достаточный запас на затухание кабеля с учетом будущих изменений его конфигураций (дополнительные сростки, дополнительные длины кабеля, эффекты старения, температурные колебания и т. п.). Приведенное выше выражение не учитывает затухания на устройствах подключения аппаратуры. Типовые значения, приведенные в п. I.5, относятся к коэффициенту затухания волоконно-оптической линии. Суммарное затухание, которое используется при проектировании реальных систем, должно учитывать статистические изменения этих параметров.

I.2 Хроматическая дисперсия

Хроматическая дисперсия, выраженная в единицах пс/нм, может быть рассчитана с помощью коэффициентов хроматической дисперсии строительных длин, исходя из линейной зависимости от длины и с учетом знаков коэффициентов и исходных характеристик системы (см. п. 5.10).

Значения длины волны λ_{0typ} , имеющей нулевую дисперсию, и коэффициента крутизны дисперсии S_{0typ} при длине волны λ_{0typ} приведены в п. I.5. Эти значения вместе с длиной линии L_{Link} можно использовать для расчета типовой дисперсии при проектировании оптической линии.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link}[S_{0typ}(\lambda - \lambda_{0typ})] \quad (\text{пс/нм})$$

1.3 Дифференциальная групповая задержка (ДГЗ)

Дифференциальная групповая задержка – это различие времени прибытия двух мод поляризации для конкретных значений длины волны и времени. Для линии с конкретным значением коэффициента ДМП, ДГЗ линии случайно изменяется с изменением времени и длины волны в соответствии с распределением Максвелла, которое содержит единственный параметр, являющийся произведением коэффициента ДМП линии и корня квадратного из длины линии. Искажения в системе из-за ДМП при конкретных значениях времени и длины волны зависят от ДГЗ при этих значениях времени и длины волны. Поэтому разработаны средства определения приемлемых пределов разброса ДГЗ относительно разброса коэффициента ДМП в волоконно-оптическом кабеле, которые опубликованы в документе IEC 61282-3. Далее приводятся метрики ограничений распределения ДГЗ:

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определение влияния компонентов, отличных от волоконно-оптического кабеля, находится вне сферы применения данной Рекомендации, но обсуждается в документе IEC 61282-3.

Эталонная длина линии L_{Ref} : Максимальная длина линии, к которой применяются максимальные ДГЗ и вероятность. При больших значениях длины линии максимальная ДГЗ умножается на корень квадратный отношения действительной длины к эталонной длине.

Типичная максимальная длина кабеля L_{Cab} : Максимальные значения гарантируются, когда типичные отдельные кабельные участки линии или длины кабелей, которые измерялись при определении распределения коэффициента ДМП, меньше этого значения.

Максимальная ДГЗ, $ДГЗ_{\max}$: Значение ДГЗ, которое может использоваться при проектировании оптической системы.

Максимальная вероятность P_F : Вероятность того, что реальное значение ДГЗ превысит $ДГЗ_{\max}$.

1.4 Коэффициент нелинейности

Влияние хроматической дисперсии находится во взаимодействии с коэффициентом нелинейности n_2/A_{eff} в отношении искажений в системе, вносимых нелинейными оптическими явлениями (см. [G.663] и [G.650.2]). Типовые значения изменяются в зависимости от реализации. Методы измерений коэффициента нелинейности все еще исследуются.

1.5 Таблица типовых значений

Значения, приведенные в таблицах I.1 и I.2, относятся к составным волоконно-оптическим линиям, согласно пп. I.1 и I.3, соответственно. Соответствующие значения максимальной ДГЗ, внесенной в волокно, которые приведены в таблице I.2, предназначены для использования в качестве руководства в отношении требования к другим оптическим элементам, которые могут находиться на линии.

Таблица I.1/G.653 – Типовое значение объединенной волоконно-оптической линии

| Атрибут | Подробности | Значение |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Коэффициент затухания | Длина волны | Типовое значение (Примечание) |
| | 1 550 нм | 0,275 дБ/км |
| | 1 625 нм | Требуется определить |
| Параметры хроматической дисперсии | $\lambda_{0ур}$ | 1 550 нм |
| | $S_{0ур}$ | 0,07 пс/(нм ² × км) |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Значение для типичной линии соответствует коэффициенту затухания линии, используемому в [G.957] и [G.691]. | | |

Таблица I.2/G.653 – Дифференциальная групповая задержка

| Максимальное значение PMD_Q (пс/√км) | Длина линии (км) | Соответствующая максимальная ДГЗ, внесенная в волокно (пс) | Скорости передачи данных по каналу |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Характеристика отсутствует | | | 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. – Данное значение применяется также к системам Ethernet со скоростью 10 Гбит/с. | | | |

ПРИМЕЧАНИЕ. – Длина кабельного участка равна 10 км за исключением случая линии 0,10 пс/√км / > 4000 км, в котором оно устанавливается равным 25 км; уровень вероятности составляет $6,5 \times 10^{-8}$.

I.6 Пределы коэффициента хроматической дисперсии для таблицы 2

Уравнения, связывающие коэффициент хроматической дисперсии с длиной волны, установлены с использованием исходной "прямоугольной" характеристики коэффициента хроматической дисперсии D_{max} , λ_{min} , λ_{max} , λ_{0min} , λ_{0max} и S_{0max} . Максимальные значения между $\lambda_{0min} = 1500$ нм и $\lambda_{max} = 1575$ нм связаны линейной зависимостью от нулевой дисперсии на 1500 нм до максимальной дисперсии $D_{max} = 3,5$ пс/нм × км на 1575 нм. Значение крутизны данной линейной зависимости соответствует $0,0467$ пс/нм² × км. Для длин волн ниже 1500 нм эта линия продолжается с той же крутизной. Максимальные значения свыше 1575 нм были добавлены с помощью линии, крутизна которой равна максимальной крутизне $S_{0max} = 0,085$ пс/нм² × км. Минимальные значения коэффициента дисперсии были также получены аналогичным образом с помощью пары прямых линий. Сплошные линии на рисунке I.1 являются ограничивающими кривыми. Штриховые линии представляют собой исходную "прямоугольную" характеристику, в которой коэффициент хроматической дисперсии имеет абсолютные значения меньше $D_{max} = 3,5$ пс/нм × км между $\lambda_{min} = 1525$ нм и $\lambda_{max} = 1575$ нм. Характеристика на основе ограничивающих кривых для таблицы 2 сравнима с исходной "прямоугольной" характеристикой для таблицы 1.

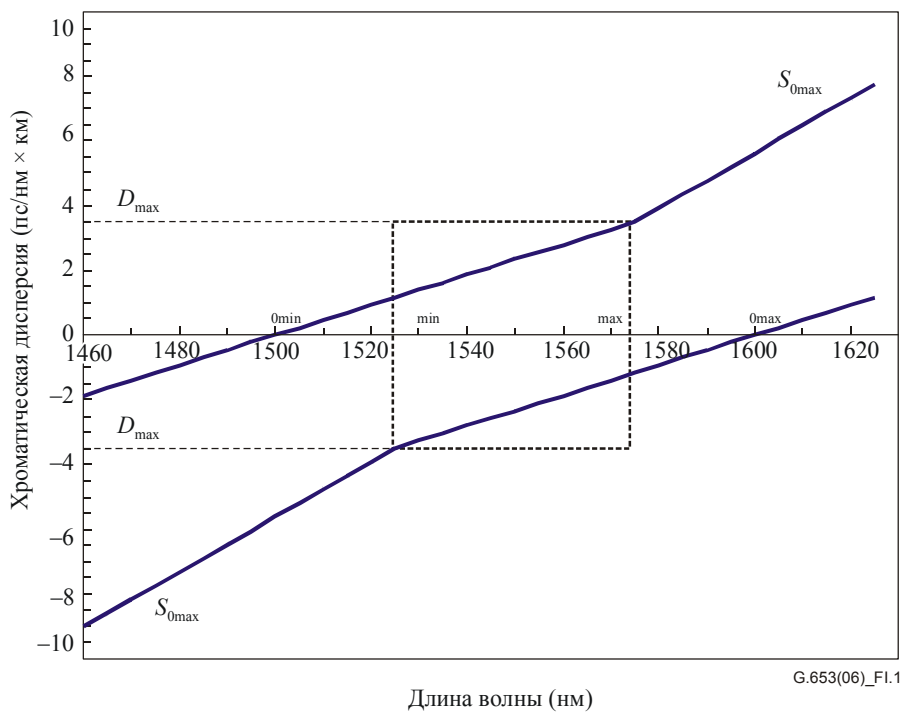


Рисунок I.1/G.653 – Границы дисперсии волокна, соответствующего таблице 2

БИБЛИОГРАФИЯ

- [IEC 61282-3] IEC/TR 61282-3 (2006), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of link polarization mode dispersion.*

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