



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.696.1

(07/2005)

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

Характеристики среды передачи – Характеристики
оптических компонентов и подсистем

**Внутридоменные приложения плотного
волнового уплотнения (DWDM),
совместимые в продольном направлении**

Рекомендация МСЭ-Т G.696.1

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.696.1

Внутридоменные приложения плотного волнового уплотнения (DWDM), совместимые в продольном направлении

Резюме

В настоящей Рекомендации предоставляются спецификации физического уровня для внутридоменных (ВД) приложений организации оптических сетей с плотным волновым уплотнением (DWDM). Описываются приложения, совместимые в продольном направлении внутри одного административного домена, для межпунктовых, многоканальных линейных систем с линейными усилителями или без них. Прикладные коды в этой Рекомендации предоставляют набор категорий для систем передачи с DWDM и волоконных линий. Основная цель состоит в предоставлении многочисленным поставщикам возможности разрабатывать оборудование передачи с DWDM для волоконных линий, которые согласуются с этой Рекомендацией.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.696.1 утверждена 14 июля 2005 г. 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

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 не 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 2006

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 Информативные ссылки..... | 2 |
| 3 Термины и определения | 2 |
| 3.1 Определения..... | 2 |
| 3.2 Термины, определенные в других рекомендациях..... | 3 |
| 4 Сокращения | 3 |
| 5 Классификация оптических интерфейсов..... | 4 |
| 5.1 Приложения..... | 4 |
| 5.2 Эталонные конфигурации..... | 4 |
| 5.3 Система условных обозначений..... | 5 |
| 6 Совместимость в продольном направлении | 6 |
| 7 Параметры..... | 6 |
| 7.1 Максимальное и минимальное затухание на длину пролета..... | 6 |
| 7.2 Тип волокна..... | 7 |
| 7.3 Диапазон рабочих длин волн..... | 7 |
| 7.4 Минимальная и максимальная хроматическая дисперсия на пролете | 7 |
| 7.5 Минимальный коэффициент местной хроматической дисперсии..... | 8 |
| 7.6 Максимальное отклонение хроматической дисперсии | 8 |
| 7.7 Максимальная дифференциальная групповая задержка..... | 8 |
| 7.8 Минимальные оптические обратные потери на MPI-S _M или S _M | 10 |
| 7.9 Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S _M и MPI-R _M | 10 |
| 8 Соображения в отношении оптической безопасности | 10 |
| Дополнение I – Теоретические пределы и соображения по разработке систем с DWDM..... | 11 |
| I.1 Подходящие технологии и их ограничения | 11 |
| I.2 Другие явления, которые ограничивают дальность передачи..... | 14 |
| I.3 Методы, используемые для подавления искажений | 16 |
| I.4 Практический пример | 17 |
| БИБЛИОГРАФИЯ..... | 19 |

Рекомендация МСЭ-Т G.696.1

Внутридоменные приложения плотного волнового уплотнения (DWDM), совместимые в продольном направлении

1 Область применения

В настоящей Рекомендации предоставляются спецификации физического уровня для внутридоменных (ВД) приложений организации оптических сетей с плотным волновым уплотнением (DWDM). Эти спецификации предоставляются для межпунктовых, многоканальных линейных систем с линейными усилителями или без них. Цель состоит в том, чтобы сделать возможным использование приложений, совместимых в продольном направлении, внутри административного домена. Основное назначение – позволить многочисленным поставщикам предоставлять оборудование передачи для волоконных линий, которые согласуются с настоящей Рекомендацией.

Чтобы предоставить основу для спецификаций ВД приложений, в эту Рекомендацию включена общая эталонная модель для приложений физического уровня. Спецификации организованы в соответствии с прикладными кодами, которые учитывают такие параметры, как диапазоны рабочих длин волн оптических усилителей, сочетания числа каналов, классов клиентов, пролетных расстояний, типов волокна и конфигураций систем.

Настоящая исходная Рекомендация сконцентрирована на ВД приложениях без промежуточных оптических элементов коммутации. Ожидается, что в будущих версиях и/или других новых рекомендациях могут рассматриваться более сложные конфигурации физического уровня и/или поддерживаться более высокий уровень совместимости. Для этих приложений могут потребоваться различные параметры, кроме определенных для межпунктовой конфигурации.

В этой Рекомендации предполагается, что оптические компонентные сигналы, транспортируемые по оптическим каналам, являются скорее цифровыми, а не аналоговыми. Спецификации для систем, позволяющих осуществлять транспорт аналоговых оптических компонентных сигналов, являются предметом дальнейшего исследования.

2 Ссылки

2.1 Нормативные ссылки

Указанные ниже 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 могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить 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.

- Рекомендация МСЭ-Т G.650.2 (2005 г.), *Определения и методы тестирования статистических и нелинейных взаимосвязанных атрибутов одномодового волокна и кабеля.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.652 (2005 г.), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля.*
- ITU-T Recommendation G.653 (2003), *Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.654 (2004 г.), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной дисперсией и отсечкой.*
- ITU-T Recommendation G.655 (2003), *Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems plus Amendment 1 (2003), Amendments to Appendix II.*

- ITU-T Recommendation G.664 (2003), *Optical safety procedures and requirements for optical transport systems plus Amendment 1* (2005).
- Рекомендация МСЭ-Т G.665 (2005 г.), *Типовые характеристики Рамановских усилителей и Рамановских усилительных подсистем.*
- ITU-T Recommendation G.691 (2003), *Optical interfaces for single-channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers plus Amendment 1* (2005).
- ITU-T Recommendation G.707/Y.1322 (2003), *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH) plus Amendment 1* (2004) and Corrigendum 1 (2004).
- ITU-T Recommendation G.709/Y.1331 (2003), *Interfaces for the Optical Transport Network (OTN) plus Amendment 1* (2003).
- ITU-T Recommendation G.872 (2001), *Architecture of optical transport networks plus Amendment 1* (2003) and Corrigendum 1 (2005).
- ITU-T Recommendation G.957 (1999), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy plus Amendment 1* (2003) and Amendment 2 (2005).
- Рекомендация МСЭ-Т G.959.1 (2003 г.), *Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети.*
- IEC 60825-1 (2001), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide.*
- IEC 60825-2 (2005), *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS).*
- IEC/TR 61292-4 (2004) *Optical amplifiers – Part 4: Maximum permissible optical power for the damage-free and safe use of optical amplifiers, including Raman amplifiers.*

2.2 Информативные ссылки

- ITU-T Recommendation G.975.1 (2004), *Forward error correction for high bit-rate DWDM submarine systems.*
- Рекомендации МСЭ-Т серии G – Дополнение 39 (2003 г.), *Рассмотрение вопросов расчета и проектирования оптических систем.*

3 Термины и определения

3.1 Определения

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины:

3.1.1 класс клиента: Класс клиента имеет отношение к классу скоростей передачи битов сигнала клиента одиночного оптического компонентного сигнала, который размещен в оптическом канале для транспортирования по оптической сети. В контексте этой Рекомендации скорость передачи битов клиента – это скорость передачи битов непрерывного цифрового сигнала до добавления любого дополнительного FEC (упреждающего исправления ошибок). В случае сигнала в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.707/Y.1322 – это будет скорость БДОКк.

3.1.2 класс клиента 1.25G: Применяется к непрерывному цифровому сигналу со скоростью передачи битов клиента от номинально равной 622 Мбит/с до номинально равной 1,25 Гбит/с. Класс клиента 1.25G включает сигнал со скоростью битов STM-4 в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.707/Y.1322.

3.1.3 класс клиента 2.5G: Применяется к непрерывному цифровому сигналу со скоростью передачи битов клиента от номинально равной 622 Мбит/с до номинально равной 2,5 Гбит/с. Класс

клиента 2.5G включает сигнал со скоростью битов STM-16 в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.707/Y.1322 и со скоростью битов БДОК1 в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.709/Y.1331.

3.1.4 класс клиента 10G: Применяется к непрерывному цифровому сигналу со скоростью передачи битов клиента от номинально равной 2,4 Гбит/с до номинально равной 10,5 Гбит/с. Класс клиента 10G включает сигнал со скоростью битов STM-64 в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.707/Y.1322 и со скоростью битов БДОК2 в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.709/Y.1331.

3.1.5 класс клиента 40G: Применяется к непрерывному цифровому сигналу со скоростью передачи битов клиента от номинально равной 9,9 Гбит/с до номинально равной 42 Гбит/с. Класс клиента 40G включает сигнал со скоростью битов STM-256 в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.707/Y.1322 и со скоростью битов БДОК3 в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.709/Y.1331.

3.2 Термины, определенные в других рекомендациях

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в Рек. МСЭ-Т G.872:

- внутридоменный интерфейс (ВДИ);
- регенерация 3R.

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в Рек. МСЭ-Т G.709/Y.1331:

- блок данных оптического канала (БДОКk).

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в Рек. МСЭ-Т G.959.1:

- Оптический компонентный сигнал.

4 Сокращения

В этой Рекомендации используются следующие сокращения:

| | |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3R | (Регенерация) Повторное усиление, восстановление формы сигнала и восстановление тактовых интервалов |
| УСИ | Усиленное спонтанное излучение |
| КОБ | Коэффициент ошибок по битам |
| МКД | Модуль компенсации дисперсии |
| ДМ | Демультимплексор |
| ДГЗ | Дифференциальная групповая задержка |
| РРУ | Распределенное рамановское усиление |
| DWDM | Плотное ВУ |
| ВУЭ | Волоконный усилитель с эрбием |
| FEC | Упреждающее исправление ошибок |
| СЧВ | Смешивание четырех волн |
| ВД | Внутридоменный |
| ВДИ | Внутридоменный интерфейс |
| ИОТ | Интерфейс основного тракта |
| М | Мультимплексор |
| УЧК | Усиление чистого кодирования |
| NRZ | Без возврата к нулю |
| ОУ | Оптический усилитель |
| БДОКk | Блок данных оптического канала (k = 1, 2 или 3) |

| | |
|---------|-----------------------------------------|
| УКОМ | Устройство контроля оптической мощности |
| ОАС | Оптический анализатор спектра |
| ООСШ | Отношение оптический сигнал/шум |
| УЗП | Усиление, зависящее от поляризации |
| ПЗП | Потери, зависящие от поляризации |
| ПМД | Поляризационная модовая дисперсия |
| PMD_Q | Статистический параметр для ПМД линии |
| RZ | Возврат к нулю |
| ФАМ | Фазовая автомодуляция |
| ИОА | Изменяемый оптический аттенюатор |
| ВУ | Волновое уплотнение |
| ПФМ | Перекрестно-фазовая модуляция |

5 Классификация оптических интерфейсов

5.1 Приложения

В настоящей Рекомендации рассматриваются внутримодечные приложения DWDM, совместимые в продольном направлении, с оптическими линейными усилителями или без них. Могут использоваться различные типы линейных усилителей, в частности дискретные линейные усилители, как описано в Рек. МСЭ-Т G.663, или рамановские усилители в соответствии с Рек. МСЭ-Т G.665.

5.2 Эталонные конфигурации

В целях этой Рекомендации на рисунке 5-1 показаны соответствующие эталонные точки, применяемые к внутримодечным приложениям интерфейса DWDM.

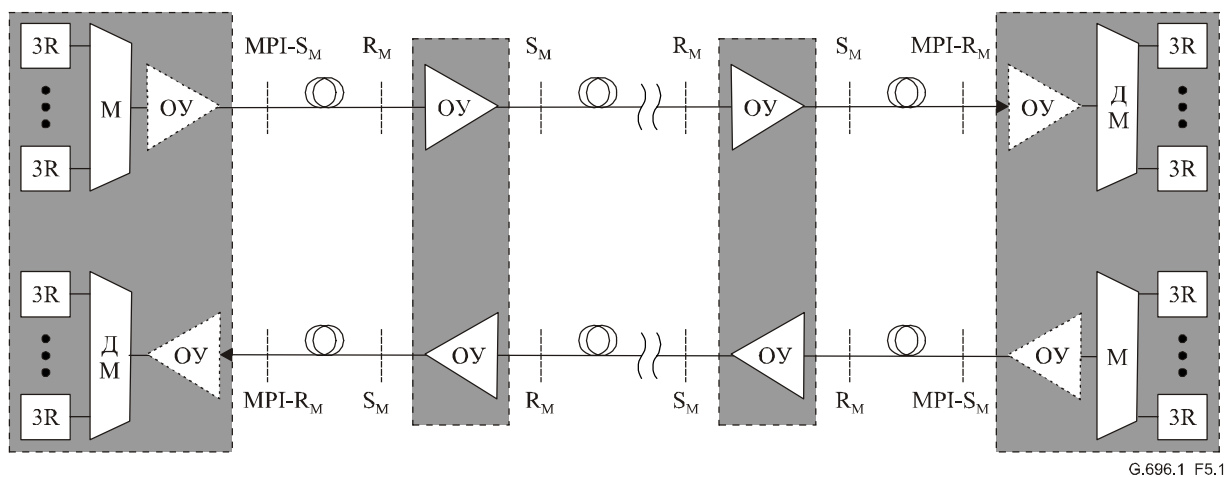


Рисунок 5-1/G.696.1 – Эталонная конфигурация для многопролетной системы с DWDM

Эталонные точки на рисунке 5-1 определяются следующим образом с использованием той же самой номенклатуры, что и в Рек. МСЭ-Т G.959.1:

- MPI-S_M является (многоканальной) эталонной точкой на оптическом волокне сразу после выходного оптического разъема транспортного интерфейса элемента оптической сети;
- MPI-R_M является (многоканальной) эталонной точкой на оптическом волокне непосредственно до выходного оптического разъема транспортного интерфейса элемента оптической сети;
- S_M является эталонной точкой сразу после выходного оптического разъема многоканального ОУ;
- R_M является эталонной точкой на оптическом волокне сразу после входного оптического разъема многоканального ОУ.

5.3 Система условных обозначений

Обозначение прикладного кода составляется следующим образом:

n.B-xWF(s),

где:

- n** максимальное число каналов, поддерживаемых прикладным кодом,
- B** указывает класс клиента:
 - 1.25G указывает скорость передачи битов клиента в диапазоне от 622 Мбит/с до 1,25 Гбит/с;
 - 2.5G указывает скорость передачи битов клиента в диапазоне от 622 Мбит/с до 2,5 Гбит/с;
 - 10G указывает скорость передачи битов клиента в диапазоне от 2,4 Гбит/с до 10,5 Гбит/с;
 - 40G указывает скорость передачи битов клиента в диапазоне от 9,9 Гбит/с до 42 Гбит/с,
- x** число пролетов в прикладном коде,
- W** буква, указывающая на затухание в пролете, например
 - S указывает на малую протяженность (затухание на пролете до 11 дБ),
 - L указывает на большую протяженность (затухание на пролете до 22 дБ),
 - V указывает на очень большую протяженность (затухание на пролете до 33 дБ),
- F** является типом волокна (полностью детализированным), например G.652.A, ... G.652.D обозначаемым в прикладном коде через "652A" ... "652D", соответственно,
- s** указывает диапазон рабочих длин волн через полосы спектра (см. Дополнение МСЭ-Т G.39):

| s | Дескриптор | Диапазон (нм) |
|---|---------------------|---------------|
| O | Исходный | 1 260–1 360 |
| E | Расширенный | 1 360–1 460 |
| S | Малая длина волны | 1 460–1 530 |
| C | Обыкновенный | 1 530–1 565 |
| L | Большая длина волны | 1 565–1 625 |

Если используется более, чем одна спектральная полоса, то s становится буквами полосы, разделенными "+", например для приложения, требующего использования полос C и L, s будет "C + L". В случае, когда применяется более одной спектральной полосы, используют порядок букв от меньших длин волн к большим длинам волн.

В случае рамановской системы передачи с усилением и с DWDM в конце прикладного кода добавляется буква "R", и код записывается как:

n.B-xWF(s)R.

Пример конкретных приложений мог бы выглядеть следующим образом:

40.10G-20L652A(C)R.

Это приложение указывает на 40-канальную систему с сигналами полезной информации класса 10G, с 20 пролетами большой протяженности волокна G.652A, которые годятся для использования с рамановскими усилителями. Полоса C используется в качестве рабочего диапазона длин волн.

6 Совместимость в продольном направлении

Приложения, охватываемые настоящей Рекомендацией, являются совместимыми в продольном направлении в соответствии с определением, данным в Дополнении МСЭ-Т G.39.

7 Параметры

Прикладные коды, используемые в этой Рекомендации (n.B-xWF(s)), состоят из двух отдельных частей. Первая часть "n.B" относится к оптической системе передачи, а вторая часть "xWF(s)" относится к инфраструктуре волокна.

Поскольку настоящая Рекомендация охватывает системы, совместимые в продольном направлении, содержащиеся в таблице 7-1 параметры относятся только к инфраструктуре волокна, за исключением случая, когда относящаяся к системе часть прикладного кода затрагивает требования к волокну.

Таблица 7-1/G.696.1 – Параметры волокна для внутридоменных приложений DWDM

| Параметр | Пункт |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Максимальное затухание на пролет | 7.1 |
| Минимальное затухание на пролет | 7.1 |
| Тип волокна | 7.2 |
| Рабочий диапазон длин волн | 7.3 |
| Минимальная хроматическая дисперсия на пролет | 7.4 |
| Максимальная хроматическая дисперсия на пролет | 7.4 |
| Минимальный местный коэффициент хроматической дисперсии | 7.5 |
| Максимальное отклонение хроматической дисперсии | 7.6 |
| Максимальная дифференциальная групповая задержка | 7.7 |
| Минимальные оптические возвратные потери на MPI-S _M или S _M | 7.8 |
| Максимальное дискретное отражение между MPI-S _M и MPI-R _M | 7.9 |

7.1 Максимальное и минимальное затухание на длину пролета

Максимальные и минимальные затухания на пролет даны в таблице 7-2.

Таблица 7-2/G.696.1 – Максимальные и минимальные затухания на пролет

| Параметр | Единица измерения | Значение "W" в прикладном коде | | |
|----------------------------------|-------------------|--------------------------------|----|----|
| | | S | L | V |
| Максимальное затухание на пролет | дБ | 11 | 22 | 33 |
| Минимальное затухание на пролет | дБ | Для дальнейшего исследования | 11 | 22 |

7.2 Тип волокна

Настоящая Рекомендация охватывает все типы волокна в Рекомендациях МСЭ-Т серии G.65x. В настоящее время она включает типы, данные в таблице 7-3.

Таблица 7-3/G.696.1 – Типы волокна

| | | | | |
|---------|---------|---------|---------|-------|
| G.652.A | G.653.A | G.654.A | G.655.A | G.656 |
| G.652.B | G.653.B | G.654.B | G.655.B | |
| G.652.C | | G.654.C | G.655.C | |
| G.652.D | | | | |

7.3 Рабочий диапазон длин волн

Рабочий диапазон длин волн состоит из одной или более полос длин волн, как определено в Дополнении МСЭ-Т G.39. См. таблицу 7-4.

Таблица 7-4/G.696.1 – Диапазоны длин волн

| s | Дескриптор | Диапазон (нм) |
|---|---------------------|---------------|
| O | Исходный | 1 260–1 360 |
| E | Расширенный | 1 360–1 460 |
| S | Малая длина волны | 1 460–1 530 |
| C | Обыкновенный | 1 530–1 565 |
| L | Большая длина волны | 1 565–1 625 |

7.4 Минимальная и максимальная хроматическая дисперсия на пролете

Минимальная и максимальная хроматическая дисперсия на пролете (исключая любую компенсацию дисперсии) может быть рассчитана либо путем использования стандартизированных параметров волокна (из Рек. серии G.65x), либо может быть измерена. Для систем 40G и для систем 10G с многими пролетами измерение часто является наиболее реальным выбором.

Расчет минимальной и максимальной хроматической дисперсии на пролете можно выполнить, взяв параметры волокна из Рекомендаций серии G.65x и дополнительные параметры, использованные в этой Рекомендации. Более подробно, расчет делается следующим образом: максимальная хроматическая дисперсия на пролет $CD_{\max}^{(span)}$ имеет вид:

$$CD_{\max}^{(span)} = D_{\max}(s) \cdot L_{\max}^{(span)},$$

где

$$L_{\max}^{(span)} = \frac{A_{\max}(W)}{\alpha(s)}$$

является максимальной длиной пролета с максимальным затуханием на пролете $A_{\max}(W)$, определенным буквой "W" (см. таблицу 7-2), и коэффициентом затухания $\alpha(s)$ в рабочей полосе длин волн "s" (см. 5.3), где $\alpha(s)$ – это "типичное значение линии" в Рекомендациях МСЭ-Т серии G.65x. Максимальный коэффициент хроматической дисперсии в рабочем диапазоне длин волн "s" обозначается как $D_{\max}(s)$.

Аналогично, минимальная хроматическая дисперсия $CD_{\min}^{(span)}$ имеет вид:

$$CD_{\min}^{(span)} = D_{\min}(s) \cdot L_{\min}^{(span)},$$

где

$$L_{\min}^{(span)} = \frac{A_{\min}(W)}{\alpha(s)}$$

является минимальной длиной пролета с минимальным затуханием на пролете $A_{\max}(W)$, определенным буквой "W" (см. таблицу 7-2), и коэффициентом затухания $\alpha(s)$ в рабочей полосе длин волн "s" (см. 5.3), где $\alpha(s)$ – это "типичное значение линии" в Рекомендациях МСЭ-Т серии G.65х. Минимальный коэффициент хроматической дисперсии в рабочем диапазоне длин волн "s" обозначается как $D_{\max}(s)$.

Коэффициенты хроматической дисперсии могут быть найдены для любого типа волокна в Рекомендациях серии G.65х с использованием "атрибутов линии". Максимальные и минимальные затухания на пролете определены в таблице 7-2.

7.5 Минимальный коэффициент местной хроматической дисперсии

При рассмотрении показателей работы отдельных каналов в многопролетной системе передачи сквозная остаточная хроматическая дисперсия (включая компенсацию) должна удерживаться в пределах строгих ограничений, с тем чтобы сделать приемлемой работу системы.

Однако для приемлемой работы систем передачи с DWDM на большие расстояния при небольшом разнесении каналов (например, 100 ГГц) существует требование минимизации коэффициента местной дисперсии волокна передачи, с тем чтобы избежать явлений нелинейности, как, например, смешивания четырех волн (СЧВ) и перекрестной фазовой модуляции (ПФМ).

Требуемое во избежание значительных потерь из-за этих явлений значение коэффициента местной хроматической дисперсии зависит от многих факторов, относящихся к разработке систем передачи, например разнесения каналов, уровня мощности, протяженности линии и т. д., и поэтому не входит в сферу применения настоящей Рекомендации.

Дальнейшие подробности, касающиеся этих эффектов нелинейности, даны в Рек. МСЭ-Т G.663 и Дополнении МСЭ-Т G.39, а некоторые методы их подавления обсуждены в пункте I.3.

7.6 Максимальное отклонение хроматической дисперсии

Требования к максимальному отклонению хроматической дисперсии являются предметом дальнейшего исследования.

7.7 Максимальная дифференциальная групповая задержка

Максимальная дифференциальная групповая задержка (ДГЗ) применяется ко всей линии между передатчиком (показанным на рисунке 5-1 как "3R", соединенный с М) и соответствующим приемником (на рисунке 5-1 – "3R", соединенный с ДМ).

Приведенное ниже уравнение может быть использовано для расчета максимальной ДГЗ линии (содержащей многочисленные компоненты и волоконные секции) с определенной вероятностью ее превышения:

$$DGD \max_{link} = \left[DGD \max_F^2 + S^2 \sum_i PMD_{Ci}^2 \right]^{1/2},$$

где:

- $DGD_{max_{link}}$ максимальная ДГЗ линии (пс);
- DGD_{max_F} максимальная ДГЗ связанного оптического волокна;
- S коэффициент подстройки Максвелла (см. таблицу 7-5);
- PMD_{Ci} значение ПМД i -й составляющей (пс).

Это уравнение предполагает, что статистика мгновенных ДГЗ аппроксимируется распределением Максвелла с вероятностью мгновенных ДГЗ, превышающей $DGD_{max_{link}}$, контролируемой значением коэффициента подстройки Максвелла, которое берется из таблицы 7-5.

Таблица 7-5/G.696.1 – Значения и вероятности S

| Отношение макс. к средней (S) | Вероятность превышения макс. | Отношение макс. к средней (S) | Вероятность превышения макс. |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 3 | $4,2 \times 10^{-5}$ | 4 | $7,4 \times 10^{-9}$ |
| 3,2 | $9,2 \times 10^{-6}$ | 4,2 | $9,6 \times 10^{-10}$ |
| 3,4 | $1,8 \times 10^{-6}$ | 4,4 | $1,1 \times 10^{-10}$ |
| 3,6 | $3,2 \times 10^{-7}$ | 4,6 | $1,2 \times 10^{-11}$ |
| 3,8 | $5,1 \times 10^{-8}$ | | |

Более подробная информация содержится в Рек. МСЭ-Т G.650.2 и G.691. Значение DGD_{max_F} (максимальная ДГЗ, обусловленная частью волокна) может быть измерено либо, в качестве альтернативы, может быть рассчитан верхний предел для данной протяженности волокна с использованием коэффициента PMD_Q в соответствующей рекомендации, относящейся к волокну.

Пределы ДГЗ для линии в целом даны в таблице 7-6 для систем с NRZ и в таблице 7-7 – для RZ.

Таблица 7-6/G.696.1 – Максимальная дифференциальная групповая задержка линии для NRZ

| Класс клиента | Единица измерения | Значение |
|---------------|-------------------|----------|
| 1.25G | пс | 240 |
| 2.5G | пс | 120 |
| 10G | пс | 30 |
| 40G | пс | 7,5 |

Таблица 7-7/G.696.1 – Максимальная дифференциальная групповая задержка линии для RZ

| Класс клиента | Единица измерения | Значение |
|---------------|-------------------|------------------------------|
| 1.25G | пс | Для дальнейшего исследования |
| 2.5G | пс | Для дальнейшего исследования |
| 10G | пс | Для дальнейшего исследования |
| 40G | пс | Для дальнейшего исследования |

7.8 Минимальные оптические возвратные потери на MPI-S_M или S_M

Отражения вызываются неоднородностями показателя преломления вдоль оптического тракта. При отсутствии контроля они могут ухудшить работу системы, мешая работе оптического источника или усилителя или приводя к интерферометрическому шуму в приемнике из-за многочисленных отражений. Отражения от оптического тракта контролируются путем задания:

- минимальных оптических возвратных потерь кабельного участка (например, MPI-S_M, S_M), включая любые соединители; и
- максимальной дискретной отражательной способности между эталонными точками источника (например, MPI-S_M, S_M) и приемными эталонными точками (например, MPI-R_M, R_M).

Отражательная способность означает отражение от любой одной дискретной точки отражения, тогда как оптические возвратные потери являются отношением падающей оптической мощности к общей оптической мощности, возвращенной от волокна в целом, включая как дискретные отражения, так и распределенное обратное рассеяние, например рассеяние Релея.

Методы измерения отражений описаны в Дополнении I/G.957. В целях измерения отражательной способности и возвратных потерь предполагается, что точки MPI-S и MPI-R совпадают с концом каждого разъема соединителя. Нельзя не отметить, что это не включает реальную характеристику отражения соответствующих соединителей в действующей системе. Предполагается, что эти отражения имеют номинальное значение отражения для конкретных типов используемых соединителей.

Минимальные оптические возвратные потери кабельного участка в MPI-S_M или S_M ограничены –24 дБ.

7.9 Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S_M и MPI-R_M

Оптическая отражательная способность определяется как отношение отраженной оптической мощности в точке к оптической мощности, падающей в эту точку. Контроль отражений широко обсуждался в Рек. МСЭ-Т G.957. Максимальное число соединителей или других дискретных точек отражения, которые могут быть включены в оптический тракт (например, для распределительных щитов или элементов ВУ), должно быть таким, чтобы сделать возможным достижение заданных общих оптических возвратных потерь. Если это не может быть сделано с использованием соединителей, удовлетворяющих приведенным здесь максимальным дискретным отражениям, то должны быть применены соединители, имеющие лучшие рабочие характеристики отражения. В ином случае должно быть уменьшено число соединителей. Может быть также необходимо ограничить число соединителей или использовать соединители с улучшенными рабочими характеристиками отражательной способности, с тем чтобы избежать недопустимых искажений из-за многочисленных отражений.

Максимальная дискретная отражательная способность между MPI-S_M и MPI-R_M ограничена –27 дБ.

8 Соображения в отношении оптической безопасности

Несмотря на то, что настоящая Рекомендация имеет отношение к инфраструктуре волокна и не задает характеристики оптических систем передачи, работающих через него, такие системы могут хорошо работать при относительно высоких уровнях мощности. С информацией, касающейся соображений в отношении оптической безопасности, можно ознакомиться в Рек. МСЭ-Т G.664, IEC 60825-1, IEC 60825-2 и IEC/TR 61292-4.

Дополнение I

Теоретические пределы и соображения по разработке систем с DWDM

В этом Дополнении представлены некоторые физические и технологические ограничения, накладываемые на достигаемые дальности линий внутридоменных оптических систем передачи с DWDM.

В пункте I.1 обсуждаются фундаментальные ограничения из-за наличия УСИ и ПМД. Обсуждение продолжается в пункте I.2 в отношении других явлений, которые ограничивают дальности в реальных системах, и в пункте I.3, в котором описаны способы подавления этих явлений. Наконец, в пункте I.4 дается пример типичных показателей работы существующей в настоящее время техники.

I.1 Подходящие технологии и их ограничения

В этом пункте указаны некоторые фундаментальные ограничения на техническую реализуемость приложений DWDM.

Предполагается, что оптическое затухание в линии компенсируется с помощью оптических усилителей, а хроматическая дисперсия компенсируется с помощью компенсаторов хроматической дисперсии.

Шум УСИ и ПМД являются наиболее ощутимыми искажениями, которые ограничивают пропускную способность и дальность передачи приложений DWDM.

Обсуждение в пункте I.1 относится к линейному NRZ-кодированию, поскольку оно обычно используется в приложениях DWDM. Другие типы линейного кодирования могут дать другие результаты и в некоторых случаях могут быть более подходящими (некоторые альтернативы NRZ обсуждаются в пункте I.3).

I.1.1 Шум УСИ

Влияние шума УСИ характеризуется, главным образом, отношением ОСШ (ООСШ). Как показано в Дополнении МСЭ-Т G.39, ООСШ многоканальной эталонной x -пролетной системы с добавочным усилителем, $x - 1$ линейными усилителями и предварительным усилителем имеет вид:

$$\text{OSNR} = P_{\text{out}} - L - \text{NF}_{\text{eff}} - 10 \cdot \log \left(x + \frac{10^{\frac{G_{\text{BA}}}{10}}}{10^{10}} \right) - 10 \cdot \log [h \cdot \nu \cdot \nu_r], \quad (\text{I-1})$$

где P_{out} – выходная мощность (на канал) дополнительного усилителя и линейных усилителей в дБм, L – потери на пролете в дБ (которые предполагаются равными усилению G_{LA} линейных усилителей), G_{BA} – усиление оптического дополнительного усилителя в дБ, NF_{eff} – коэффициент шума оптического усилителя в дБ, h – постоянная Планка (в мДж*с для согласования с P_{out} в дБм), ν – оптическая частота в Гц, ν_r – эталонная ширина полосы в Гц, $x - 1$ – общее число линейных усилителей.

Уравнение I-1 учитывает дробовый шум и сигнально-спонтанный гетеродинный шум как самые главные вносимые шумы. В некоторых случаях могут учитываться другие вносимые шумы.

Это уравнение указывает, что шум УСИ накапливается от $x + 1$ усилителей.

Следующие допущения были сделаны для этой эталонной системы:

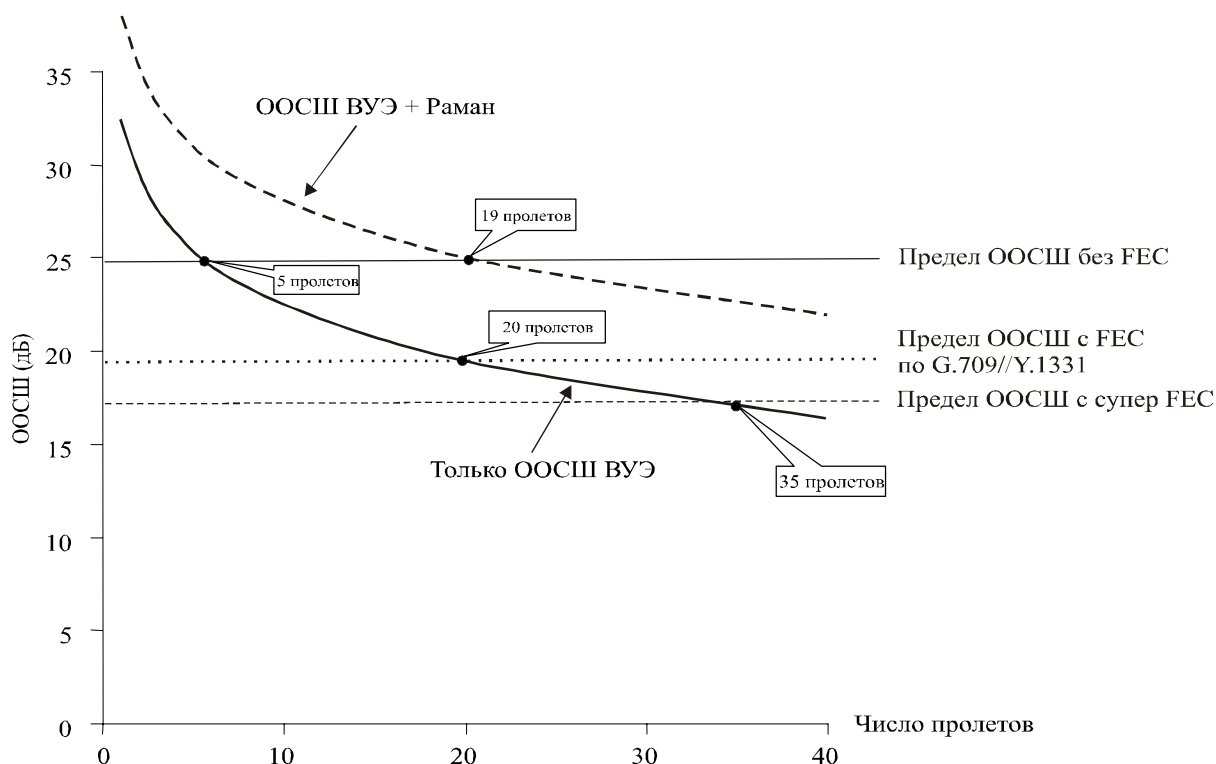
- все оптические усилители в цепи, включая дополнительный усилитель и предварительный усилитель, имеют одинаковый же коэффициент шума;
- потери (на канал) на всех пролетах равны;
- выходные мощности (на канал) дополнительного усилителя и линейных усилителей одинаковы.

Например, предполагая, что выходная мощность на канал $P_{out} = 3$ дБм, коэффициент шума $NF_{eff} = 6,5$ дБ, эталонная полоса пропускания $\nu_r = 0,1$ нм и потери на пролете $L = 22$ дБ, получаем сплошную кривую, показанную на рисунке I.1.

При скорости передачи данных 10 Гбит/с и исходя из предположения, что ООСШ ограничено 25 дБ для КОБ, равного 10^{-12} без FEC, получаем, что теоретическая предельная дальность составляет пять пролетов.

Если мы предполагаем использовать FEC по G.709/Y.1331 с чистым усилением кодирования (ЧУК), равным 5,6 дБ, то предельная ООСШ становится равной 19,4 дБ, что достигается на 20 пролетах.

При использовании более сильной FEC, например одной из схем, которую можно найти в Дополнении I/G.975.1, реализуется чистое усиление кодирования (ЧУК), равное примерно 8 дБ, а предельная ООСШ становится равной 17 дБ, что достигается на 35 пролетах.



G.696.1_F1.1

Рисунок I.1/G.696.1 – Пределы ООСШ для эталонной системы, ООСШ как функция от числа пролетов с рамановским усилением и без него

Распределенное рамановское усиление (РРУ) является дополнительной возможностью для увеличения дальности передачи. Выигрыш в ООСШ, ожидаемый от использования РРУ в конфигурации с накачкой встречной волной, может быть рассчитан с помощью эффективного коэффициента шума (NF_{eff}), который может быть выражен уравнением I-2 [1]:

$$NF_{eff} = 10 \cdot \log \left(\left(NF'_{LA} + \frac{P_{ASE,Raman}}{h \cdot \nu \cdot \nu_r} \right) \cdot \frac{1}{G'_{Raman}} \right), \quad (I-2)$$

где NF'_{LA} – линейный коэффициент шума дискретного линейного усилителя, G'_{Raman} – линейное усиление РРУ, $P_{ASE,Raman}$ – мощность УСИ, получаемая в результате РРУ, ν_r – эталонная полоса пропускания. Уравнение $NF_{LA} = 10 \cdot \log(NF'_{LA})$ сохраняет силу, где NF_{LA} – коэффициент шума дискретного линейного усилителя в дБ.

$P_{ASE,Raman}$ и $G_{Raman} = 10 \log(G'_{Raman})$ могут быть оценены аналитически [2].

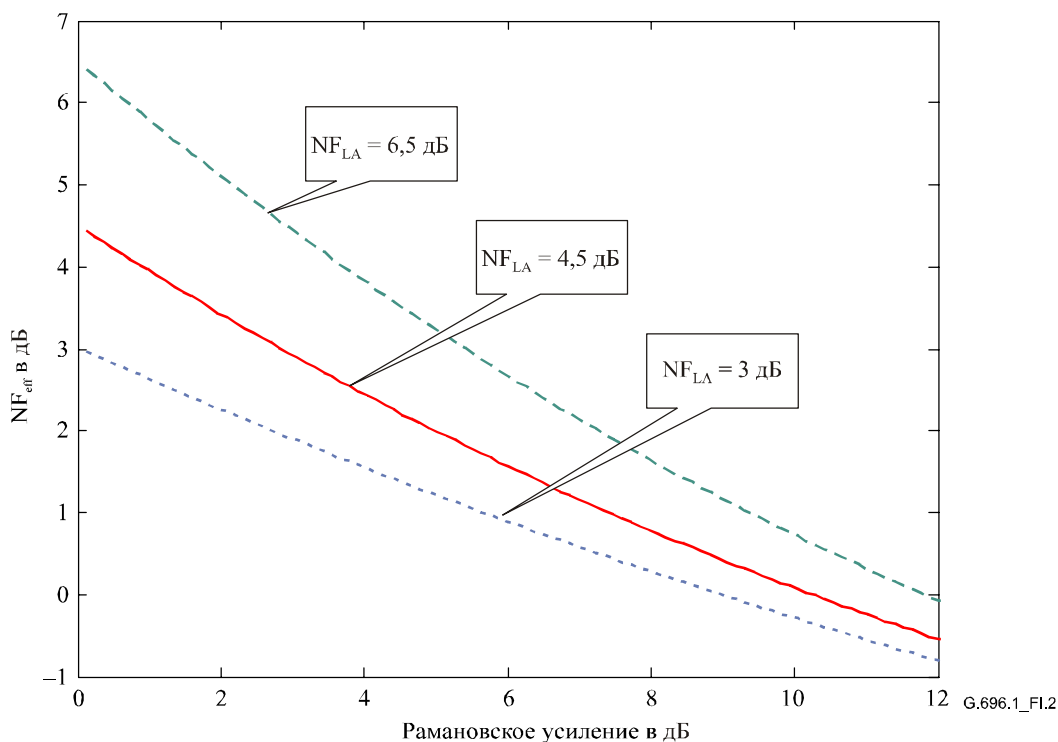


Рисунок I.2/G.696.1 – NF_{eff} как функция рамановского усиления

NF_{eff} как функция рамановского усиления G_{Raman} показан на рисунке I.2. Здесь предполагаются следующие параметры: длина волокна 80 км, коэффициент затухания 0,275 дБ/км и 0,3 дБ/км для сигнала и волны накачки, соответственно, эффективная зона волокна 80 мкм² и коэффициент рамановского усиления 3.1E-14. Коэффициенты шума ВУЭ составляют 3 дБ, 4,5 дБ и 6,5 дБ, соответственно. Максимальная дальность передачи с комбинированными рамановско-ВУЭ усилителями может быть оценен путем вставки NF_{eff} из уравнения I-2 в уравнение ООСШ I.1 и использования $L = G_{\text{Raman}} + G_{\text{LA}}$, где G_{LA} – усиление линейного усилителя в дБ.

Предполагая рамановское усиление равным примерно 9,3 дБ и коэффициент шума ВУЭ NF_{LA} = 6,5 дБ, мы получаем эффективный коэффициент шума NF_{eff} = 1, который дает штриховую кривую, показанную на рисунке I.1.

В настоящее время теоретическая предельная дальность без FEC становится равной 19 пролетам, а добавление FEC по G.709/Y.1331 позволит получить систему с более чем 40 пролетами.

I.1.2 ПМД

Общая ПМД волоконной линии общей длиной L и коэффициент ПМД для отдельных кабельных секций PMD_Q задаются уравнением $\text{PMD} = \sqrt{L} \cdot \text{PMD}_Q$. Для интерфейса NRZ со скоростью 10 Гбит/с общая ПМД не должна превышать 10 пс (соответствуя вероятности нарушения связи с "пятью девятками" для максимальной наведенной ДГЗ = 30 пс). Если значение коэффициента ПМД PMD_Q не превышает 0,5 пс/км^{1/2}, то это дает общую протяженность линии в 400 км, а при максимальном коэффициенте PMD_Q = 0,2 пс/км^{1/2} общая протяженность линии становится равной 2500 км (см. рисунок I.3).

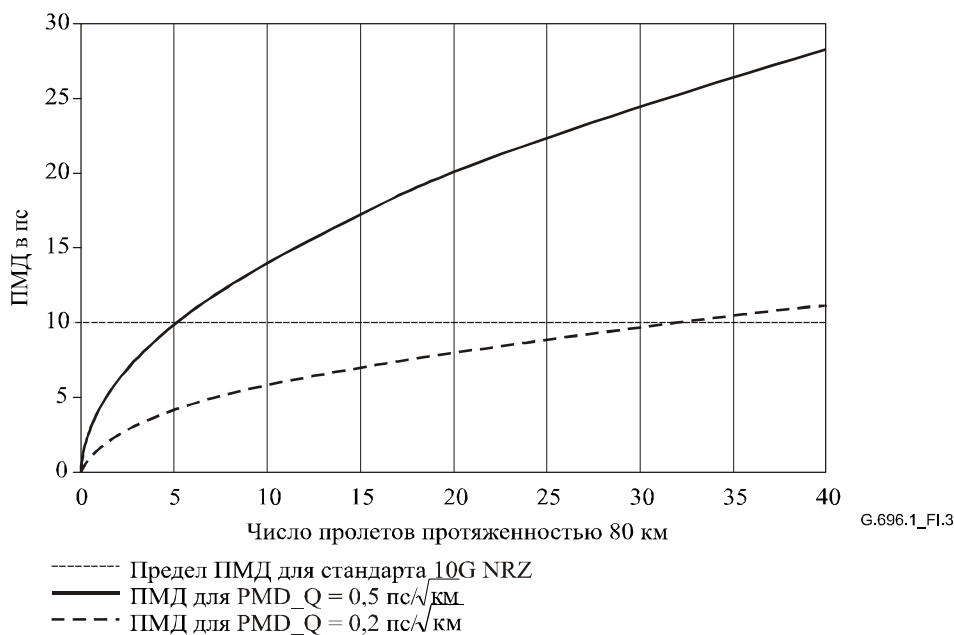


Рисунок I.3/G.696.1 – ПМД в зависимости от расстояния для различных коэффициентов ПМД и предел ПМД для систем NRZ со скоростью 10 Гбит/с с готовностью 99,999%

Рисунок I.3 предоставляет руководство по максимально допустимым расстояниям в соответствии с максимальным PMD_Q волокна для линейного кодирования NRZ, основанного на его допуске ДГЗ первого порядка. Рисунок не учитывает ПМД, вносимую оборудованием.

Реальная система на реальном волокне должна учитывать предел ПМД, вносимой совместно волоконной линией и оборудованием, которое включает все узлы в линии.

При некоторых обстоятельствах должны учитываться ПМД высокого порядка.

I.2 Другие явления, которые ограничивают дальность передачи

Предельные дальности линий, рассчитанные в предыдущих пунктах, являются дальностями, которые могли бы быть достигнуты при идеальных обстоятельствах. Однако существуют некоторые эффекты в реальных системах, которые уменьшают максимальную протяженность линии.

I.2.1 Накопленные неравномерности усиления от последовательного включения ВУЭ и отклонение из-за стимулированных эффектов Рамана

В реальной системе реальной линии необходимо учитывать расхождения между каналами из-за накопленной неравномерности и стимулированных эффектов Рамана.

Такие методы, как фильтры сглаживания усиления и динамическая коррекция усиления/мощности, могут быть использованы для снижения воздействия таких эффектов, однако некоторое воздействие останется, что снизит достижимые дальности, ниже показанных на рисунке I.1.

I.2.2 Неоднородные протяженности пролетов

В прикладных кодах настоящей Рекомендации считается, что протяженности пролетов равны. В целях обсуждения в этом Дополнении было использовано постоянное затухание величиной 22 дБ на пролет. В реальных системах протяженность пролетов обычно не одинакова и в действительности зависит от реальной топологии сети и топографических ограничений.

В общем случае сложно учесть эту "неидеальность", поскольку для одной и той же системы более протяженные пролеты означают "долг" в плане ООСШ, а более короткие пролеты оборачиваются "кредитом" в плане ООСШ.

"Долг" в плане ООСШ из-за более длинных пролетов может быть частично или полностью компенсирован путем увеличения выходной мощности усилителя, предшествующего самому пролету, при условии, что увеличенная мощность не вызывает нелинейных эффектов, которые не могут быть допустимы без излишних потерь.

Поэтому, вообще говоря, линия с более длинными пролетами, вероятно, может заставить систему поддерживать меньшее число пролетов, тогда как линия с более короткими пролетами, вероятно, может позволить системе поддерживать большее число пролетов. С учетом того, что этот вопрос относится к конкретному системному проектированию оборудования поставщика, здесь он упоминается просто для того, чтобы дать более полное представление об этих типах приложений без предоставления каких-либо деталей.

1.2.3 Оптическая нелинейность

Такие нелинейные эффекты, как фазовая автомодуляция (ФАМ) и/или перекрестная фазовая модуляция (ПФМ), аккумулируются с числом пролетов и становятся значительными, когда число пролетов становится большим. Таким образом, в реальной линии нелинейные потери не могут не приниматься во внимание.

Большая мощность в канале положительно сказывается на ООСШ, но необязательно положительно сказывается на КОБ из-за нелинейных эффектов в волокне.

Если рассматривать NRZ со средней мощностью в канале, равной 3 дБм на волокне G.652 (такая же мощность предполагается на рисунке I.1), то накопленная после 10 пролетов нелинейная фаза (ФАМ) $\Phi_{NL} = \gamma P_{ch} L_{eff} N_{span}$ близка к 1 радиану, и передача происходит в так называемой области "сильного нелинейного искажения", в которой дальность линии может быть ограничена из-за нелинейности. Таким образом, общая протяженность линии могла бы быть значительно ниже, чем предсказанная на рисунке I.1 только на основании пределов ООСШ.

Дополнительные подробности в отношении оптической нелинейности даны в Рек. МСЭ-Т G.663 и Дополнении МСЭ-Т G.39, а некоторые методы подавления этих явлений обсуждаются в пункте I.3.

1.2.4 Остаточная дисперсия и допуск дисперсии

Кривые на рисунке I.1 предполагают, что дисперсия в каждом канале системы с ВУ отлично скомпенсирована. В то время, как могут использоваться модули компенсации дисперсии (МКД) с полностью обратной, по сравнению со склоном волны в волокне, дисперсией, это не всегда имеет место, но даже в этом случае необходимо учитывать хроматическую дисперсию высшего порядка по мере того, как увеличивается число пролетов.

Помимо несопадающих склонов, вызывающих остаточную дисперсию в некоторых каналах ВУ, нелинейное искажение может, если его не подавить, расширить спектр и, таким образом, снизить допуск дисперсии после передачи по волокну.

Например, нелинейность в волоконной линии с периодической дисперсией вызывает отрицательный импульсный сигнал, который сужает допуск компенсации дисперсии и перемещает оптимальную точку компенсации дисперсии в определенно чистую дисперсию. Это явление поясняется на рисунке I.4.

Этот пример основан на моделировании восьмиканальной системы с сигналами 10G NRZ, передаваемыми по волокну G.652 протяженностью 10 x 80 км, при средней выходной мощности на канал, равной 3 дБ. Моделирование предполагает, что хроматическая дисперсия каждой 80-километровой секции была точно компенсирована в каждом линейном усилителе.

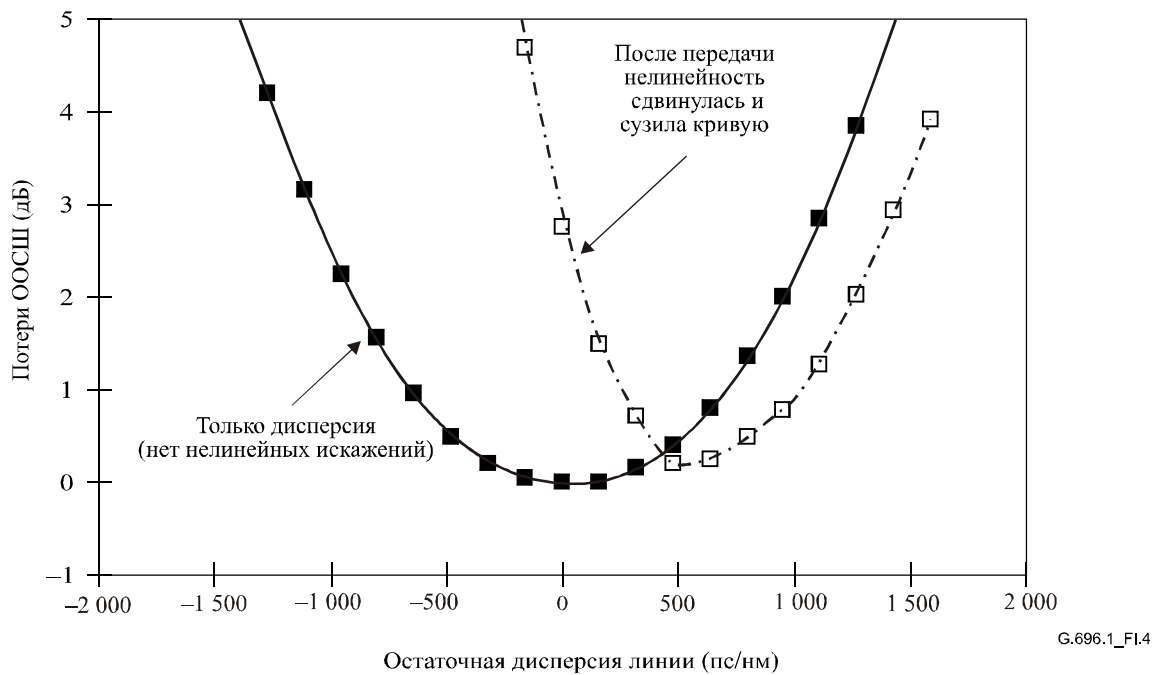


Рисунок I.4/G.696.1 – Пример действия нелинейности на допуск дисперсии после передачи

I.2.5 Накопиваемые эффекты ПЗП

Такие оптические элементы, как фильтры ВУ, ИОА или ОУ характеризуются конечными потерями, зависящими от поляризации (ПЗП), которые могут составлять от 0,1 до 0,3 дБ на устройство или даже выше. ПЗП проявляются в виде модуляции стохастической интенсивности оптических сигналов из-за изменений поляризаций сигналов с течением времени. Под влиянием эффектов усиления, зависящего от поляризации (УЗП), наведенные флуктуации мощности преобразуются в ОУ во флуктуации ООСШ.

В протяженной системе большой дальности, в которой связано множество оптических элементов сети, накопленные ПЗП могут вызывать значительные флуктуации мощности, которые могут ухудшить показатели работы системы и стабильность. Однако корреляция между флуктуациями мощности и изменениями ООСШ необязательно может быть однозначной. Флуктуации мощности могут быть слишком быстрыми, чтобы быть полностью скомпенсированными средствами динамического выравнивания мощности.

I.3 Методы, используемые для подавления искажений

Существует несколько практических методов, которые могут улучшить работу линии с ВДИ, например путем выбора:

- i) динамического выравнивания усиления;
- ii) линейного кодирования;
- iii) числа оптических каналов и их разнесения;
- iv) типов волокна;
- v) смешивания различных типов волокна на одном пролете.

I.3.1 Динамическое выравнивание усиления

С целью компенсации отклонения усиления, вносимого длинной цепью усилителей, для обеспечения хорошего выравнивания по всем каналам сложного сигнала с DWDM может быть использован интегральный оптический анализатор спектра (ОАС) или устройство контроля оптической мощности (УКОМ) и сглаживающие фильтры регулировки усиления.

1.3.2 Формат модуляции

При определенных обстоятельствах, кроме NRZ, некоторые преимущества могут обеспечить другие форматы модуляции.

Как описано в Дополнении МСЭ-Т G.39, системы с линейным кодированием типа "возврат к нулю" (RZ) значительно более устойчивы к ПМД первого порядка, чем системы с NRZ. Такие модифицированные форматы кодирования с RZ, как фазомодулированный RZ, могут быть, кроме того, полезны в плане нелинейного допуска. Эти характеристики способствуют использованию линейного кодирования с RZ для линий очень большой дальности, в которых особенно существенны ПМД и эффекты нелинейности.

С другой стороны, по сравнению с NRZ (см. Дополнение МСЭ-Т G.39) кодирование RZ обладает потенциальным недостатком (из-за более широкой полосы пропускания, которая должна использоваться) более низкой эффективности в плане использования спектра и часто более чувствительно к остаточной хроматической дисперсии, чем NRZ. По этой причине, для систем, в которых принят формат модуляции с RZ, требуются более точные определение характеристик и компенсация связанной с линией дисперсии.

В системах с DWDM, кроме NRZ и RZ, могут также применяться другие линейные коды, каждый из которых имеет преимущества и недостатки. В частности, для линий очень большой протяженности выбор конкретного линейного кода зависит от конкретного проектирования оптимальной системы.

1.3.3 Число оптических каналов и их разнос

В общем случае, при максимальном числе каналов с DWDM, обеспечивающих приемлемое функционирование, будет иметь место тенденция к снижению протяженности линии и/или снижению оптического разнесения каналов из-за повышенного воздействия оптической нелинейности.

1.3.4 Типы волокна

При определенных условиях один тип волокна может обладать преимуществом или недостатком перед другим типом волокна. Например, в диапазоне С волокно по G.652 имеет большую хроматическую дисперсию, чем волокно по G.655 или G.653, и поэтому оно может вносить меньше нелинейных явлений. Однако рамановское усиление сильно зависит от типа волокна, а волокна по G.652 из-за их больших диаметров поля моды обладают меньшим рамановским усилением для данной мощности накачки, чем другие волокна.

1.3.5 Смешивание различных типов волокна в пределах одного пролета

Одним методом, который может быть использован для подавления эффектов нелинейности волокна, является преднамеренное смешивание волокон с различными характеристиками в пределах одного пролета. Например, если на пролете содержатся перемежающиеся волокна с положительной и отрицательной дисперсией, то это приводит к тому, что пролет характеризуется высоким значением местной дисперсии (желательной для снижения явлений ПФМ и смешивания четырех волн (СЧВ)), однако имеет низкую чистую дисперсию (которая снижает требования к компенсации дисперсии).

С целью минимизации нелинейного искажения в случаях, когда на линии имеются различные типы волокна на разных пролетах, мощность запуска, возможно, должна различаться для каждого пролета в зависимости от типов волокна первых 20 км каждого пролета.

1.4 Практический пример

Из предыдущего обсуждения понятно, что число пролетов, которое может быть практически достигнуто при данном разнесении каналов, рабочей области длин волн, скорости битов и потерях на пролете, зависит от разнообразных вариантов проектирования системы, например используемой схемы FEC, применения динамического выравнивания мощности либо рамановского усиления и т. д.

Однако в качестве примера существующей техники можно привести систему со следующими характеристиками, которая сегодня, обеспечивая максимально примерно до 15 пролетов, может быть эффективной по затратам:

- минимальное разнесение каналов: 100 ГГц;
- рабочая область длин волн: диапазон С (1530–1565 нм);
- класс клиента: 10G;
- потери на пролете: 22 дБ;

- тип волокна – G.652;
- FEC по G.709/Y.1331.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] ISLAM (M.N.) (Ed.): Raman Amplifiers for Telecommunications 2 Sub-Systems and Systems, *Springer Series in Optical Sciences*, Vol. 90/2, pp. 432, 2004 (ISBN:0-387-40656-5).
- [2] AOKI (Y.) *et al.*: Properties of fibre Raman amplifiers and their applicability to digital optical communication systems, *IEEE J. Lightwave Technol.*, Vol. 6, pp. 1225-1239, 1988.

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 |