

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.698.1

(11/2009)

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

Характеристики среды передачи и оптических
систем – Характеристики оптических систем

**Многоканальные приложения, в которых
используется DWDM, с одноканальными
оптическими интерфейсами**

Рекомендация МСЭ-Т G.698.1

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ
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.698.1

Многоканальные приложения, в которых используется DWDM, с одноканальными оптическими интерфейсами

Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.698.1 представлены значения оптических параметров для интерфейсов физического уровня систем, в которых используется плотное мультиплексирование с разделением по длине волны (DWDM) и которые предназначены, в первую очередь, для общегородских приложений. Приложения определяются с применением параметров оптических интерфейсов в одноканальных точках соединения между оптическими передатчиками и оптическим мультиплексором, а также между оптическими приемниками и оптическим демультиплексором в системе с DWDM. В настоящей Рекомендации используется методика, которая объединяет вместе максимальное затухание мультиплексора/демультиплексора и волокна и поэтому не определяет в явном виде максимальную протяженность волоконного звена. В Рекомендацию включены однонаправленные приложения DWDM, работающие со скоростью 2,5 и 10 Гбит/с с частотным разносом каналов 100 ГГц, а также работающие со скоростью 10 Гбит/с приложения с частотным разносом каналов 50 ГГц.

В ходе последнего пересмотра в Рекомендацию МСЭ-Т G.698.1 включено использование оптических мультиплексоров ввода/вывода (OADM) в "черном звене".

Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор
1.0	ITU-T G.698.1	29.06.2005 г.	15-я	11.1002/1000/8523
2.0	ITU-T G.698.1	14.12.2006 г.	15-я	11.1002/1000/8980
3.0	ITU-T G.698.1	13.11.2009 г.	15-я	11.1002/1000/10395

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). 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 осуществляется на добровольной основе. Однако данная Рекомендация может содержать некоторые обязательные положения (например, для обеспечения функциональной совместимости или возможности применения), и в таком случае соблюдение Рекомендации достигается при выполнении всех указанных положений. Для выражения требований используются слова "следует", "должен" ("shall") или некоторые другие обязывающие выражения, такие как "обязан" ("must"), а также их отрицательные формы. Употребление таких слов не означает, что от какой-либо стороны требуется соблюдение положений данной Рекомендации.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или выполнение настоящей Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, действительности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами МСЭ или другими сторонами, не относящимися к процессу разработки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное 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 2015

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения	1
2 Ссылки.....	1
3 Термины и определения	2
3.1 Термины, определенные в других документах	2
3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации	2
4 Сокращения и акронимы	2
5 Классификация оптических интерфейсов.....	3
5.1 Приложения	3
5.2 Эталонные точки.....	3
5.3 Система условных обозначений	6
5.4 Одноканальные интерфейсы в эталонных точках S_S и R_S	7
6 Поперечная совместимость	8
7.1 Общая информация.....	9
7.2 Интерфейс в точке S_S	10
7.3 Параметры оптического тракта (единичный пролет) от S_S до R_S	11
7.4 Интерфейс в точке R_S	15
8 Значения параметров	16
9 Соображения в отношении оптической безопасности	21
Дополнение I – Число OADM, поддерживаемых в звене	21
I.1 Введение	21
I.2 Максимальные вносимые потери канала.....	21
I.3 Максимальная неравномерность	21
I.4 Максимальная хроматическая дисперсия.....	22
I.5 Отражения.....	22
I.6 Максимальная дифференциальная групповая задержка	22
I.7 Максимальные интерферометрические перекрестные потери.....	23
Библиография	24

Многоканальные приложения, в которых используется DWDM, с одноканальными оптическими интерфейсами

1 Сфера применения

Цель настоящей Рекомендации заключается в представлении спецификаций оптического интерфейса для реализации поперечно совместимых систем с плотным мультиплексированием с разделением по длине волны (DWDM), предназначенных, в первую очередь, для общегородских приложений.

В настоящей Рекомендации определены и представлены значения для параметров одноканальных оптических интерфейсов физических межпунктовых и кольцевых приложений DWDM (с дальностью передачи в диапазоне примерно от 30 до 80 км) на одномодовых оптических волокнах с использованием метода "черного звена".

Приложения, содержащие усилители в "черном звене", не входят в сферу применения настоящей Рекомендации.

В настоящей Рекомендации представлено описание систем DWDM, имеющих следующие характеристики:

- частотный разнос каналов: 50 ГГц и более (определено в [ITU-T G.694.1]);
- битовая скорость в канале связи: до 10 Гбит/с.

Спецификации организованы в соответствии с прикладными кодами.

2 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 регулярно публикуется. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус рекомендации.

- | | |
|-----------------|--|
| [ITU-T G.652] | Рекомендация МСЭ-Т G.652 (2005 г.), <i>Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля.</i> |
| [ITU-T G.653] | Рекомендация МСЭ-Т G.653 (2006 г.), <i>Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со сдвигом дисперсии.</i> |
| [ITU-T G.655] | Рекомендация МСЭ-Т G.655 (2006 г.), <i>Характеристики одномодового волоконно-оптического волокна и кабеля с ненулевым дисперсионным смещением.</i> |
| [ITU-T G.664] | Рекомендация МСЭ-Т G.664 (2006 г.), <i>Процедуры и требования к обеспечению оптической безопасности оптических транспортных систем.</i> |
| [ITU-T G.671] | Recommendation ITU-T G.671 (2009), <i>Transmission characteristics of optical components and subsystems.</i> |
| [ITU-T G.691] | Рекомендация МСЭ-Т G.691 (2006 г.), <i>Оптические интерфейсы для одноканальных STM-64 и других систем СЦИ с оптическими усилителями.</i> |
| [ITU-T G.692] | Recommendation ITU-T G.692 (1998), <i>Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.</i> |
| [ITU-T G.694.1] | Recommendation ITU-T G.694.1 (2002), <i>Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.</i> |

- [ITU-T G.698.2] Рекомендация МСЭ-Т G.698.2 (2009), *Многоканальные приложения, в которых используется плотное мультиплексирование с разделением по длине волны, с усилителями и с одноканальными оптическими интерфейсами.*
- [ITU-T G.709] Рекомендация МСЭ-Т G.709/Y.1331 (2003), *Интерфейсы оптической транспортной сети (OTN).*
- [ITU-T G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- [ITU-T G.959.1] Recommendation ITU-T G.959.1 (2008), *Optical transport network physical layer interfaces.*
- [IEC 60825-1] IEC 60825-1 (2007), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements.*
- [IEC 60825-2] IEC 60825-2 (2007), *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS).*

3 Термины и определения

3.1 Термины, определенные в других документах

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в других документах:

- 3.1.1 вносимые потери канала** (channel insertion loss) [ITU-T G.671]
- 3.1.2 разнос каналов** (channel spacing) [ITU-T G.671]
- 3.1.3 полностью стандартизированный OTUk** (completely standardized OTUk) (**OTUk**) [ITU-T G.709]
- 3.1.4 устройство плотного мультиплексирования с разделением по длине волны** (dense wavelength division multiplexing) (**DWDM**) [ITU-T G.671]
- 3.1.5 дифференциальная групповая задержка** (differential group delay) [ITU-T G.671]
- 3.1.6 сетка частот** (frequency grid) [ITU-T G.694.1]
- 3.1.7 совместное проектирование** (joint engineering) [ITU-T G.957]
- 3.1.8 оптический трибутарный сигнал** (optical tributary signal) [ITU-T G.959.1]
- 3.1.9 оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G** (optical tributary signal class NRZ 10G) [ITU-T G.959.1]
- 3.1.10 оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G** (optical tributary signal class NRZ 2.5G) [ITU-T G.959.1]
- 3.1.11 отражательная способность** (reflectance) [ITU-T G.671]
- 3.1.12 неравномерность** (ripple) [ITU-T G.671]
- 3.1.13 поперечная совместимость** (transverse compatibility) [ITU-T G.957]

3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

Настоящая Рекомендация не содержит определений каких-либо терминов.

4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы:

ASE	Amplified Spontaneous Emission	Усиленное спонтанное излучение
BER	Bit Error Ratio	Коэффициент ошибок по битам
DGD	Differential Group Delay	Дифференциальная групповая задержка

EX	Extinction Ratio	Коэффициент поглощения
FEC	Forward Error Correction	Упреждающая коррекция ошибок
NA	Not Applicable	Не применяется
NE	Network Element	Элемент сети
NRZ	Non-Return to Zero	Без возврата к нулю
OA	Optical Amplifier	Оптический усилитель
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer	Оптический мультиплексор ввода/вывода
OD	Optical Demultiplexer	Оптический демультиплексор
OM	Optical Multiplexer	Оптический мультиплексор
ONE	Optical Network Element	Элемент оптической сети
OTUk	Completely standardized optical channel transport unit – k	Полностью стандартизированный транспортный блок оптического канала k
PMD	Polarization Mode Dispersion	Поляризационная модовая дисперсия
RP _R	Link reference point at the DWDM network element aggregate input	Эталонная точка звена на агрегированном входе элемента сети с DWDM
RP _S	Link reference point at the DWDM network element aggregate output	Эталонная точка звена на агрегированном выходе элемента сети с DWDM
R _S	Single-channel reference point at the DWDM network element tributary output	Одноканальная эталонная точка на трибутарном выходе элемента сети с DWDM
S _S	Single-channel reference point at the DWDM network element tributary input	Одноканальная эталонная точка на трибутарном входе элемента сети с DWDM
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Мультиплексирование с разделением по длине волны

5 Классификация оптических интерфейсов

5.1 Приложения

В настоящей Рекомендации представлены параметры и значения физического уровня для одноканальных интерфейсов многоканальных оптических систем с DWDM в физических межпунктовых и кольцевых приложениях. Эти системы с DWDM с одноканальными интерфейсами предназначены, прежде всего, для использования в общегородских сетях с различными клиентами, услугами и протоколами.

В настоящей Рекомендации применен способ составления спецификации с использованием метода "черного звена", который означает, что параметры оптического интерфейса заданы только для оптических трибутарных сигналов (одиночный канал). Представлены дополнительные спецификации для таких параметров "черного звена", как максимальное затухание, хроматическая дисперсия, неравномерность и поляризационная модовая дисперсия. Этот метод обеспечивает возможность поперечной совместимости в одноканальной точке с использованием прямой конфигурации мультиплексирования по длине волны. Однако он не обеспечивает поперечной совместимости в многоканальных точках. В этом методе OM и OD считаются одной совокупностью оптических устройств и могут включать OADM.

В настоящей Рекомендации рассматриваются только приложения DWDM, в которых "черное звено" не содержит оптических усилителей.

5.2 Эталонные точки

5.2.1 Однонаправленные приложения

На рисунке 5-1 показана совокупность эталонных точек при использовании метода "черного звена" с линейной топологией для одноканального соединения (S_S и R_S) между передатчиками (Tx) и приемниками (Rx). Здесь элементы сети DWDM содержат OM и OD, которые используются как пара с противостоящим элементом, и могут также содержать один или несколько OADM.

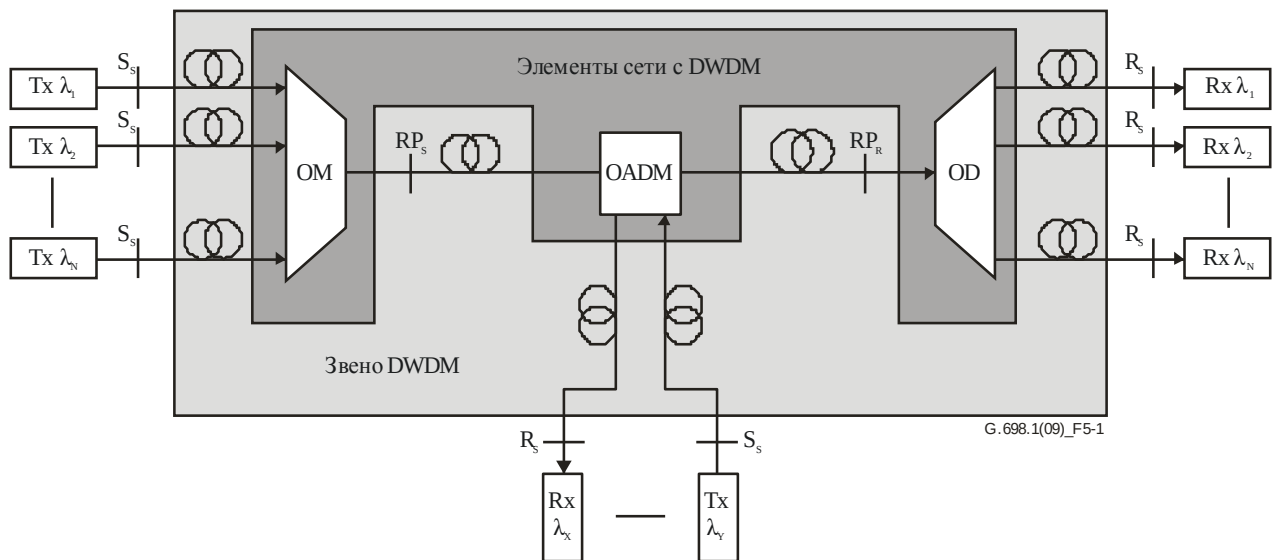


Рисунок 5-1 – Метод "черного звена" с линейной топологией

Как показано на рисунке 5-1, в случаях, когда передатчик или приемник находятся на некотором расстоянии от OM, OD или OADM, волокно между точкой S_s или R_s и элементом сети с DWDM рассматривается как часть "черного звена".

На рисунке 5-2 показана совокупность соответствующих эталонных точек для метода "черного звена" с кольцевой топологией, для одноканального соединения (S_s и R_s) между передатчиками (Tx) и приемниками (Rx). Здесь элементы сети с DWDM включают два или более OADM в кольцевой топологии.

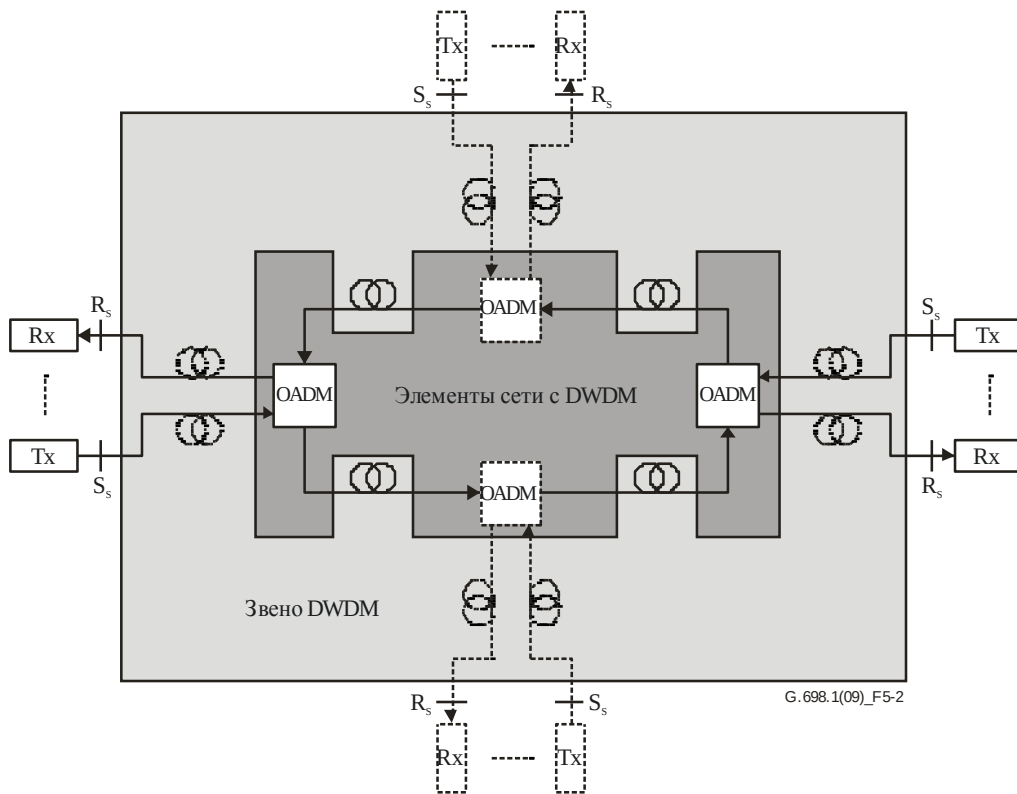


Рисунок 5-2 – Метод "черного звена" с кольцевой топологией

Эта эталонная модель не включает каких-либо оптических усилителей в системе с DWDM. Эталонные точки на рисунках 5-1 и 5-2 определяются следующим образом:

- S_S – одноканальная эталонная точка на трибутарном входе элемента сети с DWDM;
- R_S – одноканальная эталонная точка на трибутарном выходе элемента сети с DWDM;
- RP_S – эталонная точка звена на общем выходе элемента сети с DWDM;
- RP_R – эталонная точка звена на общем входе элемента сети с DWDM.

Здесь одноканальные эталонные точки S_S и R_S применяются к системам для метода "черного звена" (с линейной или кольцевой топологией), когда каждый тракт от S_S до своей соответствующей R_S должен соответствовать значениям параметров прикладного кода.

Следует заметить, что RP_S и RP_R определяются только для предоставления информации по волоконной линии, а не для предоставления характеристик сигнала в этих точках.

5.2.2 Двухнаправленные приложения

В настоящее время в данной Рекомендации не содержатся какие-либо двухнаправленные приложения, однако предполагается, что они будут включены при будущем пересмотре. На рисунке 5-3 показана совокупность эталонных точек для одноволоконного двухнаправленного метода "черного звена" с линейной топологией для одноканального соединения (S_S и R_S) между передатчиками (Tx) и приемниками (Rx). Здесь элементы сети DWDM содержат OM/OD, который используется как пара с противостоящим элементом, и могут также содержать один или несколько OADM.

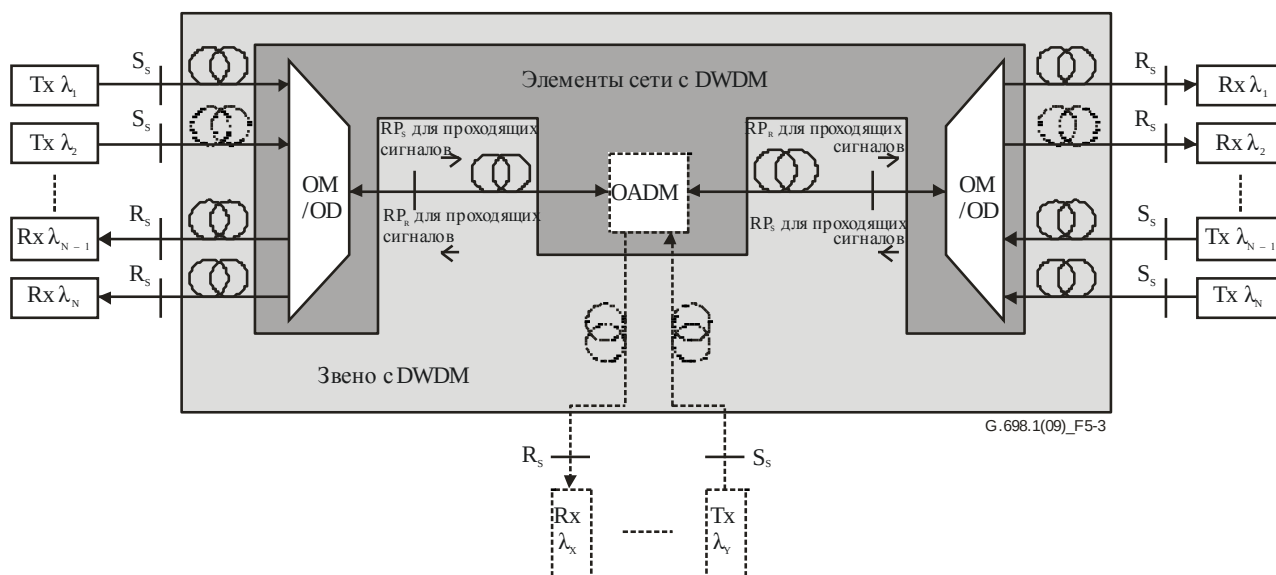


Рисунок 5-3 – Метод "черного звена" с линейной топологией для двухнаправленных приложений

На рисунке 5-4 показана совокупность соответствующих эталонных точек для одноволоконного двухнаправленного метода "черного звена" с кольцевой топологией для одноканального соединения (S_S и R_S) между передатчиками (Tx) и приемниками (Rx). Здесь элементы сети DWDM содержат два и более OADM в кольцевой топологии.

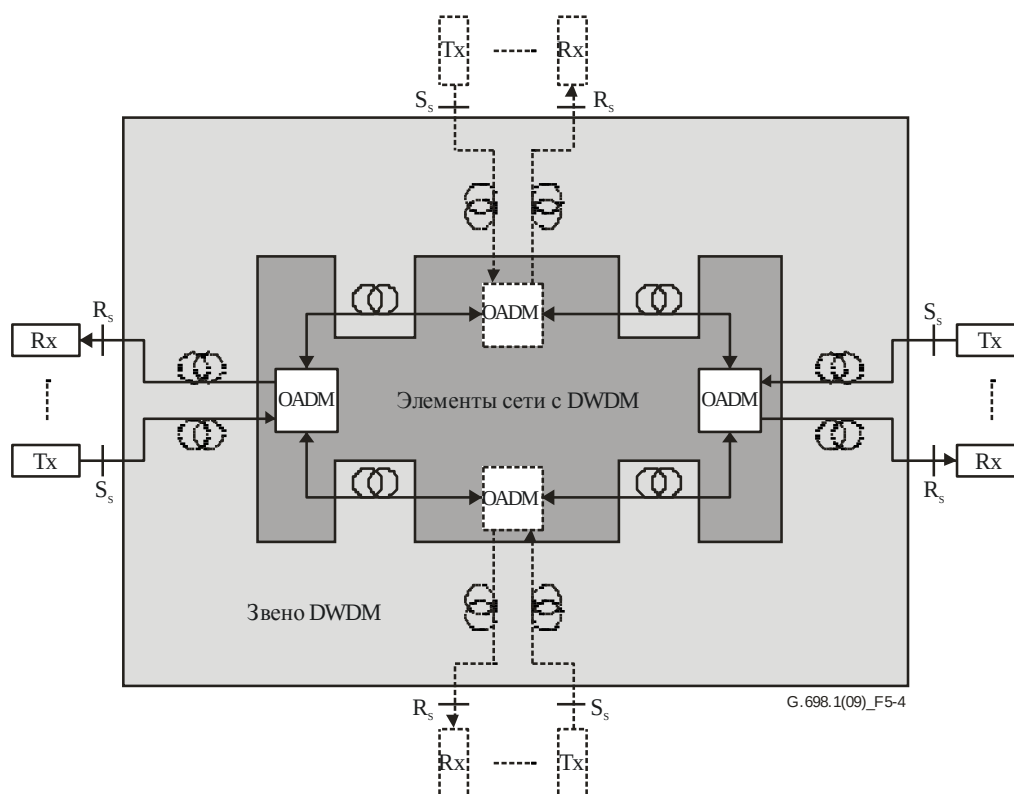


Рисунок 5-4 – Метод "черного звена" с кольцевой топологией для двунаправленных приложений

Эталонные точки на рисунках 5-3 и 5-4 даны в соответствии с п. 5.2.1.

5.3 Система условных обозначений

Прикладной код идентифицирует сеть, реализацию и характеристики архитектурны приложения.

Обозначение прикладного кода составляется следующим образом:

$$DScW-ytz(v),$$

где:

D – указатель приложений с DWDM.

S обозначает варианты максимальной спектральной амплитуды, например:

- **N** обозначает узкую спектральную амплитуду;
- **W** обозначает широкую спектральную амплитуду.

c разнос каналов в ГГц.

W –буква, обозначающая дальность пролета, например:

- **S** обозначает малую протяженность;
- **L** обозначает большую протяженность.

y обозначает наивысший поддерживаемый класс оптического трибутарного сигнала:

- **1** обозначает NRZ 2.5G;
- **2** обозначает NRZ 10G.

t – буква-заполнитель, обозначающая конфигурацию, которая поддерживается прикладным кодом. В данной версии настоящей Рекомендации единственным используемым значением является:

- **D**, которое обозначает, что "черное звено" не содержит каких-либо оптических усилителей.
- z** обозначает типы волокон следующим образом:
 - 2 обозначает волокно МСЭ-Т G.652;
 - 3 обозначает волокно МСЭ-Т G.653;
 - 5 обозначает волокно МСЭ-Т G.655.
- v** обозначает диапазон рабочей длины волны через полосы спектра (см. [b ITU-T G-Sup.39]):

v	Дескриптор	Номинальный диапазон длины волн (нм)
S	Малая длина волны	1 460–1 530
C	Типовая	1 530–1 565
L	Большая длина волны	1 565–1 625

Если используется несколько спектральных полос, то **v** становится буквами полосы, разделенными "+", например для приложения, требующего использования полос C и L, **v** примет вид "C + L".

ПРИМЕЧАНИЕ. – Номинальные диапазоны длины волн даны здесь в целях классификации, а не спецификации. Реальная минимальная и максимальная длина волны для каждого приложения должна рассчитываться исходя из максимальной и минимальной частоты канала для этого приложения.

Двунаправленная система обозначается путем добавления буквы **B** перед прикладным кодом. Для прикладных кодов DWDM это будет иметь следующий вид:

B-DScW-ytz(v).

Для некоторых прикладных кодов в конце кода добавляется суффикс. В настоящее время единственным определенным суффиксом является:

- **F** для обозначения того, что для этого приложения необходима передача байтов FEC, как определено в [ITU-T G.709].

5.4 Одноканальные интерфейсы в эталонных точках S_s и R_s

Одноканальные интерфейсы, представленные в таблицах с 8-1 по 8-5, предназначены для возможности поперечной совместимости в одноканальных интерфейсах на входных/выходных точках звена с DWDM (OM, волокно и OD), как показано на рисунках с 5-1 по 5-4.

Дополнительные требования, имеющие отношение к поперечной совместимости, представлены в п. 6.

Прикладные коды для одиночных каналов, составленные в соответствии с системой условных обозначений в п. 5.3, сведены в таблицу 5-1.

Таблица 5-1 – Классификация приложений

Приложение	Малая протяженность (S)	Большая протяженность (L)
Тип волокна	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655
Класс оптического трибутарного сигнала NRZ 2.5G	DN100S-1D2(C), DW100S-1D2(C), DN100S-1D3(L), DW100S-1D3(L), DN100S-1D5(C), DW100S-1D5(C)	DN100L-1D2(C), DW100L-1D2(C), DN100L-1D3(L), DW100L-1D3(L), DN100L-1D5(C), DW100L-1D5(C)

Таблица 5-1 – Классификация приложений

Приложение	Малая протяженность (S)	Большая протяженность (L)
Тип волокна	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655
OTU1 с возможностью FEC	DN100S-1D2(C)F, DW100S-1D2(C)F, DN100S-1D3(L)F, DW100S-1D3(L)F, DN100S-1D5(C)F, DW100S-1D5(C)F	DN100L-1D2(C)F, DW100L-1D2(C)F, DN100L-1D3(L)F, DW100L-1D3(L)F, DN100L-1D5(C)F, DW100L-1D5(C)F
Класс оптического трибутарного сигнала NRZ 10G	DN100S-2D2(C), DW100S-2D2(C), DN100S-2D3(L), DW100S-2D3(L), DN100S-2D5(C), DW100S-2D5(C) DN50S-2D2(C), DN50S-2D3(L), DN50S-2D5(C)	DN100L-2D2(C), DW100L-2D2(C), DN100L-2D3(L), DW100L-2D3(L), DN100L-2D5(C), DW100L-2D5(C) DN50L-2D2(C), DN50L-2D3(L), DN50L-2D5(C)
OTU2 с возможностью FEC	DN100S-2D2(C)F, DW100S-2D2(C)F, DN100S-2D3(L)F, DW100S-2D3(L)F, DN100S-2D5(C)F, DW100S-2D5(C)F DN50S-2D2(C)F, DN50S-2D3(L)F, DN50S-2D5(C)F	DN100L-2D2(C)F, DW100L-2D2(C)F, DN100L-2D3(L)F, DW100L-2D3(L)F, DN100L-2D5(C)F, DW100L-2D5(C)F DN50L-2D2(C)F, DN50L-2D3(L)F, DN50L-2D5(C)F

Многоканальные системы без усилителей с одноканальными интерфейсами в настоящей Рекомендации определены в таблицах с 8-1 по 8-5.

6 Поперечная совместимость

В настоящей Рекомендации определены параметры для обеспечения возможности поперечной совместимости (т. е. устройств разных поставщиков) элементов сети (NE) с DWDM в методе "черного звена" в одноканальных эталонных точках S_S и R_S .

Одноканальные эталонные точки S_S и R_S предназначены для того, чтобы сделать поперечно совместимыми многочисленные трибутарные интерфейсы элементов сети с DWDM. В этом случае различные передатчики (Tx λ_i) и приемники (Rx λ_i) трибутарного сигнала могут быть поставлены различными изготовителями. Следует заметить, что элементы сети с DWDM (ОМ и ОД) в методе "черного звена" поставлены одним изготовителем и рассматриваются в качестве единого набора оптических устройств.

Возможность поперечной совместимости (т. е. совместимости устройств разных поставщиков) обеспечивается для всех одноканальных эталонных точек S_S и R_S элементов сети с DWDM в методе "черного звена", имеющих один и тот же прикладной код.

Сосуществование трибутарных интерфейсов с различными прикладными кодами на протяжении того же "черного звена" является вопросом совместного проектирования. Следует принимать надлежащие меры, в частности, в отношении обеспечения совместимости ключевых параметров, например выходной мощности в S_S и входной мощности в R_S , битовой скорости /линейного кодирования в S_S и битовой скорости/линейного кодирования в R_S и т. д.

Для элемента прикладного кода, относящегося к максимальной спектральной амплитуде (указатель S в прикладном коде, см. п. 5.3), несоответствие между указателем передатчика и указателем звена вызовет несовместимость, когда передатчик имеет код, содержащий W (широкая спектральная

амплитуда), а звено содержит N (узкая спектральная амплитуда). Все другие комбинации поперечно совместимы.

7 Определения параметров

Параметры в таблице 7-1 определены в интерфейсных точках, определения представлены в следующих ниже пунктах.

Таблица 7-1 – Параметры физического уровня для приложений DWDM с использованием метода "черного звена"

Параметр	Единицы измерения	Определен в п.
Общая информация		
Минимальный разнос каналов	ГГц	7.1.1
Битовая скорость/линейное кодирование оптического трибутарного сигнала	–	7.1.2
Максимальный коэффициент ошибок по битам	–	7.1.3
Тип волокна	–	7.1.4
Интерфейс в точке S_s		
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	7.2.1
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	7.2.1
Минимальная центральная частота	ТГц	7.2.2
Максимальная центральная частота	ТГц	7.2.2
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	7.2.3
Минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	7.2.4
Минимальный коэффициент поглощения	дБ	7.2.5
Глазковая маска	–	7.2.6
Оптический тракт от точки S_s до R_s		
Максимальные вносимые потери канала	дБ	7.3.1
Минимальные вносимые потери канала	дБ	7.3.1
Максимальная неравномерность	дБ	7.3.2
Максимальная хроматическая дисперсия	пс/нм	7.3.3
Минимальные оптические возвратные потери в S _s	дБ	7.3.4
Максимальная дискретная отражательная способность между S _s и R _s	дБ	7.3.5
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	7.3.6
Максимальные межканальные перекрестные помехи в R _s	дБ	7.3.7
Максимальные интерферометрические перекрестные помехи в R _s	дБ	7.3.8
Интерфейс в точке R_s		
Максимальная средняя входная мощность	дБм	7.4.1
Чувствительность приемника	дБм	7.4.2
Максимальный штраф оптического тракта	дБ	7.4.3
Максимальная отражательная способность приемника	дБ	7.4.4

7.1 Общая информация

7.1.1 Минимальный разнос каналов

Минимальная номинальная разница по частоте между двумя соседними каналами. Все возможные допуски для реальных частот рассмотрены в п. 7.2.3.

7.1.2 Битовая скорость/линейное кодирование оптических трибутарных сигналов

Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 2.5G применяется к непрерывным цифровым сигналам с линейным кодированием без возврата к нулю от номинально 622 Мбит/с до номинально 2,67 Гбит/с. Оптический трибутарный сигнал класса NRZ 10G применяется к непрерывным цифровым сигналам с линейным кодированием без возврата к нулю от номинально 2,4 Гбит/с до номинально 10,71 Гбит/с.

7.1.3 Максимальный коэффициент ошибок по битам

Параметры определены относительно цели проектирования оптической секции, состоящей в том, чтобы коэффициент ошибок по битам (BER) был не хуже, чем значение, определенное прикладным кодом. Это значение применяется к каждому оптическому каналу для предельного случая затухания в оптическом тракте и условий рассеяния в каждом приложении. В случае прикладных кодов, для которых необходима передача байтов FEC (например, в случае кода с индексом F), необходимо, чтобы BER удовлетворял требованиям только после применения коррекции (если она используется). Для других прикладных кодов необходимо, чтобы BER удовлетворял требованиям без использования FEC.

7.1.4 Тип волокна

Типы одномодового оптического волокна выбраны из тех типов, которые определены в [ITU-T G.652], [ITU-T G.653] и [ITU-T G.655]

7.2 Интерфейс в точке S_s

7.2.1 Максимальная и минимальная средняя выходная мощность канала

Средняя введенная мощность каждого оптического канала в эталонной точке S_s является средней мощностью псевдослучайной последовательности данных, вносимых в звено с DWDM. Она задается как диапазон (максимум и минимум), чтобы предусмотреть некоторую оптимизацию по затратам и чтобы учесть поправки на работу в стандартных условиях эксплуатации, на ухудшение состояния соединителей, на измерительные допуски и на эффекты старения.

7.2.2 Минимальная и максимальная центральная частота

Центральная частота является номинальной частотой одиночного канала, на которой с помощью линейного кода NRZ модулирована цифровая кодированная информация конкретного оптического канала.

Центральные частоты всех каналов в рамках приложения находятся на сетке частот для минимального разнеса каналов приложения, приведенного в [ITU-T G.694.1].

При том что в настоящей Рекомендации не определены конкретные центральные частоты, используемые в рамках каждого приложения, номинальные центральные частоты всех каналов в рамках приложения должны быть больше или равны минимальной центральной частоте и меньше или равны максимальной центральной частоте.

Следует заметить, что значение "c" (скорость света в вакууме), которое должно быть использовано для преобразования между частотой и длиной волны, составляет $2,99792458 \times 10^8$ м/с.

7.2.3 Максимальная спектральная амплитуда

Это максимально допустимая разница между номинальной центральной частотой канала и точками на уровне -15 дБ спектра передатчика, наиболее удаленных от номинальной центральной частоты, измеренной в точке S_s. Это поясняется на рисунке 7-1.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Измерение точек на уровне -15 дБ спектра передатчика должно быть выполнено с номинальным разрешением по полосе пропускания, равным 0,01 нм.

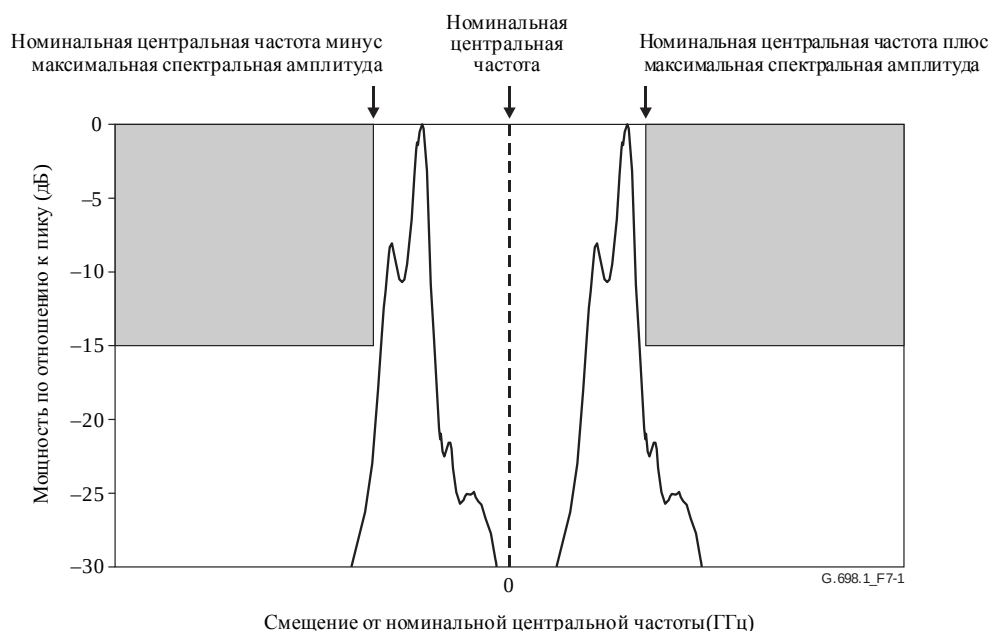


Рисунок 7-1 – Иллюстрация максимальной спектральной амплитуды

Этот параметр определяет также диапазон частот, в котором должны обеспечиваться определенные в спецификации вносимые потери канала и неравномерность.

7.2.4 Минимальный коэффициент подавления боковой моды

Минимальный коэффициент подавления боковой моды является минимальным значением отношения самого большого пика из всего спектра передатчика ко второму самому большому пику. Спектральное разрешение измерения должно быть лучше, чем максимальная спектральная ширина пика, как определено в [ITU-T G.691]. Второй самый большой пик может быть следующим за основным пиком или может быть расположенным далеко от него.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В рамках этого определения спектральные пики, которые отделены от самого большого пика тактовой частотой, не считаются боковыми модами.

7.2.5 Минимальный коэффициент поглощения канала

Коэффициент поглощения (EX) определяется как:

$$EX = 10\log_{10}(A/B).$$

В приведенном выше определении EX величина A является средним уровнем оптической мощности в центре логической "1", а величина B является средним уровнем оптической мощности в центре логического "0". Для оптических логических уровней принято следующее правило:

- излучение света – логическая "1";
- отсутствие излучения – логический "0".

При наличии фильтра Бесселя-Томсона четвертого порядка соблюдение минимального коэффициента поглощения канала не требуется.

7.2.6 Глазковая маска

Определение и пределы для этого параметра приведены в [ITU-T G.959.1].

7.3 Параметры оптического тракта (единичный пролет) от S_s до R_s

7.3.1 Минимальные и максимальные вносимые потери канала

Вносимые потери канала определяются в [ITU-T G.671]. Для любого оптического канала – это минимальное (или максимальное) снижение оптической мощности между входным и выходным

портами "черного звена" для этого канала в диапазоне частот центральной частоты канала $\pm$ максимальная спектральная амплитуда.

В качестве спецификации вносимых потерь приняты значения для наихудшего случая, которые включают потери, вызываемые парой OM/OD, сращиваниями, соединителями, оптическими аттенуаторами (если таковые используются) или другими пассивными оптическими устройствами, и любой дополнительный запас на кабель, с тем чтобы учесть поправки на:

- 1) будущие модификации конфигурации кабеля (дополнительные сращивания, увеличенная длина кабеля и т. д.);
- 2) изменения показателей работы волоконного кабеля из-за факторов окружающей среды; и
- 3) ухудшения состояния любых соединителей, оптических аттенуаторов или других пассивных оптических устройств между точками S_s и R_s , если таковые используются.

7.3.2 Максимальная неравномерность

Неравномерность (устройства с DWDM) определена в [ITU-T G.671]. В этой Рекомендации она применяется ко всему "черному звену" от эталонной точки S_s до соответствующей точки R_s . Для любого оптического канала – это разница размаха во вносимых потерях между входным и выходным портами "черного звена" для этого канала в диапазоне частот центральной частоты канала $\pm$ максимальная спектральная амплитуда. Это поясняется на рисунке 7-2.



Рисунок 7-2 – Иллюстрация максимальной неравномерности

7.3.3 Максимальная хроматическая дисперсия

Этот параметр определяет максимальное значение хроматической дисперсии оптического тракта, которое способна выдерживать система. Оно считается значением дисперсии для наихудшего случая. Метод наихудшего случая по отношению к этому параметру предназначен для обеспечения некоторых запасов по параметру чувствительности, а также для того, чтобы сделать возможным увеличение дальности передачи для волоконных линий с малыми потерями.

Величины максимальной хроматической дисперсии, содержащиеся в таблицах с 8-1 по 8-5, были получены из оценки для максимальной протяженности звена, поддерживаемой каждым прикладным кодом, рассчитанным путем деления максимальных вносимых потерь канала (с поправкой на вычитенные из них потери пары OM/OD) на 0,21 дБ/км. В случае, если значения дисперсии, полученные этим методом, были сочтены выше целесообразных для современных эффективных по затратам оптических передатчиков, значения дисперсии уменьшались в соответствии с

существующей в настоящее время технологической возможностью, и, таким образом, эти приложения могут быть ограничены по дисперсии, тогда как другие ограничены по потерям.

Допустимый штраф оптического тракта учитывает все детерминистские эффекты, вызванные хроматической дисперсией, а также штраф, вызванный максимальной дифференциальной групповой задержкой.

7.3.4 Минимальные оптические возвратные потери в S_S

Отражения вызываются неоднородностями коэффициента преломления вдоль оптического тракта. Если их не контролировать, то они могут ухудшить показатели работы системы, оказывая мешающее воздействие на работу оптического источника или приводя к интерферометрическому шуму в приемнике вследствие многократных отражений. Отражения от оптического тракта контролируются путем определения:

- минимальных оптических возвратных потерь кабельного участка в эталонной точке источника (S_S), включая любые соединители; и
- максимальной дискретной отражательной способности между эталонной точкой источника (S_S) и эталонной точкой приема (R_S).

Отражательной способностью называется отражение от одной дискретной точки отражения, тогда как оптическими возвратными потерями является отношение падающей оптической мощности к общей возвращенной оптической мощности от всего волокна, включая дискретные отражения и обратное рассеяние, например рассеяние Релея.

Методы измерения отражений описаны в Дополнении I [ITU-T G.957]. В целях измерения отражательной способности и возвратных потерь предполагается, что точки S_S и R_S совпадают с торцом каждого разъема соединителя. Признается, что это не включает реальных показателей отражения соответствующих соединителей в рабочей системе. Предполагается, что эти отражения имеют номинальное значение отражения для конкретных типов используемых соединителей.

7.3.5 Максимальная дискретная отражательная способность между S_S и R_S

Оптическую отражательную способность определяют как отношение имеющейся в точке отраженной оптической мощности к оптической мощности, падающей в эту точку. Контроль за отражениями подробно рассматривается в [ITU-T G.957]. Максимальное число соединителей или других дискретных точек отражения, которые могут быть включены в оптический тракт (например, для распределительных щитов, OADM или других компонентов WDM), должно быть таким, чтобы обеспечить соответствующие спецификации общих оптических возвратных потерь. Если это невозможно сделать с использованием соединителей, удовлетворяющих максимальным дискретным отражениям, приведенным в таблицах в п. 8, то тогда должны использоваться соединители, имеющие лучшие показатели отражения. В ином случае должно быть уменьшено число соединителей. Может быть также необходимо ограничить число соединителей или использовать соединители с улучшенными показателями отражения во избежание недопустимых искажений из-за многократных отражений.

В таблицах в п. 8 значение максимальной дискретной отражательной способности между эталонными точками источника и эталонными точками приема предназначено для минимизации эффектов многократных отражений (например, интерферометрического шума). Значение для максимальной отражательной способности приемника выбирается для обеспечения приемлемых штрафов вследствие многократных отражений для всех возможных конфигураций системы, включающих несколько соединителей и т. п. Однако значения максимальной дискретной отражательной способности между S_S и R_S , приведенные в таблицах с 8-1 по 8-5, могут оказаться недостаточными для обеспечения соответствия минимальным оптическим возвратным потерям в SS в случае большого числа OADM в звене.

В системах, в которых используется меньше соединителей или используются соединители с лучшими показателями, создается меньше многократных искажений, и, следовательно, в них допускается использование приемников, имеющих более высокую отражательную способность.

7.3.6 Максимальная дифференциальная групповая задержка

Дифференциальная групповая задержка (DGD) – это разница во времени между частями импульса, которые передаются в двух основных состояниях поляризации оптического сигнала. Для расстояний

больших, чем несколько километров, и на основе предположения случайной (строгой) связи поляризационных мод, DGD в волокне может быть статистически моделирована как подчиняющаяся распределению Максвелла.

В настоящей Рекомендации максимальная групповая дифференциальная задержка определяется как значение DGD, которое должно допускаться системой при максимальном ухудшении чувствительности, равном 1 дБ.

Ввиду статистической природы поляризационной модовой дисперсии (PMD) связь между максимальной DGD и средней DGD может быть определена только вероятностно. Вероятность мгновенных DGD, превышающих любую заданную величину, может быть определена с помощью статистики Максвелла. Поэтому, если известна максимальная величина DGD, которая может быть допущена в системе, возможно получить эквивалентную среднюю DGD путем деления на отношение максимума к среднему, что соответствует допустимой вероятности. Некоторые примеры отношений приведены в таблице 7-2.

Таблица 7-2 – Средние значения и вероятности DGD

Отношение максимума к среднему	Вероятность превышения максимума
3,0	$4,2 \times 10^{-5}$
3,5	$7,7 \times 10^{-7}$
4,0	$7,4 \times 10^{-9}$

7.3.7 Максимальные межканальные перекрестные помехи

Этот параметр обуславливает требование к развязке звена, которая соответствует методу "черного звена", для того чтобы при эксплуатационных условиях наихудшего случая межканальные перекрестные помехи в любой эталонной точке R_s были меньше значения максимальных межканальных перекрестных помех.

Межканальные перекрестные помехи определяются как отношение общей мощности во всех мешающих каналах к мощности в полезном канале, когда в полезном и мешающем каналах используются разная длина волн.

В частности, развязка звена должна превышать величину, требуемую для обеспечения того, что если какой-либо канал работает при минимальной средней выходной мощности в точке S_s , а все другие работают при максимальной средней выходной мощности, то межканальные перекрестные помехи в соответствующей точке R_s будут меньше величины максимальных межканальных перекрестных помех.

7.3.8 Максимальные интерферометрические перекрестные помех

Этот параметр обуславливает требование к развязке звена, которая соответствует методу "черного звена", для того чтобы при эксплуатационных условиях наихудшего случая интерферометрические перекрестные помехи в любой эталонной точке R_s были меньше значения максимальных интерферометрических перекрестных помех.

Интерферометрические перекрестные помехи определяются как отношение мешающей мощности к полезной мощности в одном канале, когда мешающая мощность является мощностью (не включая ASE) в оптическом канале, которая сохранится, если полезный сигнал будет удален из звена, а все прочие условия звена останутся теми же.

В частности, развязка звена должна превышать величину, требуемую для обеспечения того, что если какой-либо канал работает при минимальной средней выходной мощности в точке S_s , а все другие работают при максимальной средней выходной мощности, то интерферометрические перекрестные помехи в соответствующей точке R_s будут меньше величины максимальных интерферометрических перекрестных помех.

7.4 Интерфейс в точке R_s

7.4.1 Максимальная средняя входная мощность

Максимально допустимое значение средней принимаемой мощности в точке R_s для достижения конкретного максимального BER прикладного кода.

7.4.2 Чувствительность приемника

Чувствительность приемника определяется как минимальное значение средней принимаемой мощности в точке R_s для достижения BER, равного 10^{-12} . Это требование должно выполняться для передатчика при наихудших случаях значений его глазковой маски, коэффициента поглощения, оптических возвратных потерь в точке S_s , ухудшения состояния соединителей приемника и измерительных допусков. Чувствительность приемника не должна удовлетворять требованиям при наличии дисперсии, отражений от оптического тракта или перекрестных помех; эти эффекты определены отдельно при назначении максимального штрафа оптического тракта.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Чувствительность приемника не должна удовлетворять требованиям при наличии джиттера передатчика, превышающего соответствующий предел создания джиттера (например, [b-ITU-T G.8251] для оптических трибутарных сигналов OTN).

Эффекты старения не определяются отдельно, поскольку они обычно являются предметом обсуждения между оператором сети и изготовителем оборудования.

7.4.3 Максимальный штраф оптического тракта

Штрафом тракта является очевидное снижение чувствительности приемника вследствие искажения волновой формы сигнала в ходе его передачи по тракту. Это проявляется как сдвиг кривых BER системы в направлении более высоких уровней входной мощности. Это соответствует положительному штрафу тракта. Отрицательные штрафы тракта могут существовать при некоторых обстоятельствах, однако должны быть небольшими. (Отрицательный штраф тракта указывает на то, что не совсем безупречный глаз передатчика был частично улучшен зависящими от тракта искажениями). В идеальном случае кривые BER должны быть только транслированы, однако нередко встречаются изменения формы, которые могут указывать на появление наименьших BER. Поскольку штраф тракта является изменением чувствительности приемника, он измеряется на уровне BER, равном 10^{-12} .

Для приложений, определяемых в настоящей Рекомендации, штрафы тракта ограничены максимумом в 1,5 дБ для систем малой протяженности NRZ 2.5G и 2,5 дБ для всех других систем. Эти пределы являются более высокими, чем в других Рекомендациях из-за дополнительного штрафа, вызываемого оптическими перекрестными помехами.

В будущем могут быть внедрены системы, в которых используются методы адаптации дисперсии, основанные на предсказании сигнала в передатчике. В этом случае штраф тракта в вышеупомянутом смысле может быть определен между точками с неискаженными сигналами. Однако эти точки не совпадают с основными интерфейсами тракта и, таким образом, могут даже не быть доступными. Определение штрафа тракта для этого случая является предметом дальнейшего исследования.

Средняя величина случайных штрафов дисперсии из-за PMD включена в допустимый штраф тракта. В этом отношении, требуется такое сочетание передатчик/приемник, при котором выдерживается реальная DGD с периодом 0,3 бита и с максимальным ухудшением чувствительности в 1 дБ (с 50% оптической мощности в каждом основном состоянии поляризации). Для хорошо спроектированного приемника это соответствует штрафу в 0,1–0,2 дБ для DGD, равной 0,1 периода бита. Реальная DGD, которая может встретиться в работе, является случайно изменяющейся характеристикой волокна/кабеля и не может быть определена в настоящей Рекомендации. Этот вопрос более подробно обсуждается в Дополнении I [ITU-T G.691].

Следует заметить, что уменьшение отношения сигнал/шум из-за оптического усиления (которое должно быть включено в будущий пересмотр настоящей Рекомендации) не считается штрафом тракта.

Для приложений, в которых используется метод "черного звена", штраф тракта включает штраф перекрестных помех.

7.4.4 Максимальная отражательная способность приемника

Отражения от приемника назад в звено с DWDM определяются максимальной допустимой отражательной способностью приемника, измеренной в эталонной точке R_S . Оптическая отражательная способность определена в [ITU T G.671].

8 Значения параметров

Параметры и значения физического уровня приведены в таблицах с 8-1 по 8-5.

Таблица 8-1 – Параметры и значения физического уровня для класса NRZ 2.5G, приложения малой протяженности с частотным разделением в 100 ГГц

Параметр	Единицы измерения	DN100S-1D2(C) DN100S-1D3(L) DN100S-1D5(C)	DW100S-1D2(C) DW100S-1D3(L) DW100S-1D5(C)	DN100S-1D2(C)F DN100S-1D3(L)F DN100S-1D5(C)F	DW100S-1D2(C)F DW100S-1D3(L)F DW100S-1D5(C)F
Общая информация					
Минимальный разнос каналов	ГГц	100	100	100	100
Битовая скорость/линейное кодирование оптического трибутарного сигнала	–	NRZ 2.5G	NRZ 2.5G	NRZ OTU1 с возможностью FEC	NRZ OTU1 с возможностью FEC
Максимальный коэффициент ошибок по битам	–	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12} (Примечание)	10^{-12} (Примечание)
Тип волокна	–	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655
Интерфейс в точке S_s					
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+4	+4	+4	+4
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	0	0	0	0
Минимальная центральная частота	ТГц	191,5 для (C) 186,0 для (L)	191,5 для (C) 186,0 для (L)	191,5 для (C) 186,0 для (L)	191,5 для (C) 186,0 для (L)
Максимальная центральная частота	ТГц	196,2 для (C) 191,5 для (L)	196,2 для (C) 191,5 для (L)	196,2 для (C) 191,5 для (L)	196,2 для (C) 191,5 для (L)
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	$\pm 12,5$ ± 20	$\pm 12,5$ ± 20	$\pm 12,5$ ± 20	$\pm 12,5$ ± 20
Минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30	30	30	30
Минимальный коэффициент поглощения	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Глазковая маска	–	NRZ 2.5G по МСЭ-T G.959.1	NRZ 2.5G по МСЭ-T G.959.1	NRZ 2.5G по МСЭ-T G.959.1	NRZ 2.5G по МСЭ-T G.959.1
Оптический тракт от точки S_s до R_s					
Максимальные вносимые потери канала	дБ	16,5	16,5	19,5	19,5
Минимальные вносимые потери канала	дБ	4	4	4	4
Максимальная неравномерность	дБ	2	2	2	2
Максимальная хроматическая дисперсия	пс/нм	950	950	1 200	1 200
Минимальные оптические возвратные потери в S_s	дБ	24	24	24	24
Максимальная дискретная отражательная способность между S_s и R_s	дБ	–27	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	120	120	120	120
Максимальные межканальные перекрестные помехи	дБ	–15	–15	–15	–15
Максимальные интерферометрические перекрестные помехи	дБ	–45	–45	–45	–45
Интерфейс в точке R_s					
Максимальная средняя входная мощность в канале	дБм	0	0	0	0
Чувствительность приемника	дБм	–18	–18	–21	–21
Максимальный штраф оптического тракта	дБ	1,5	1,5	1,5	1,5
Максимальная отражательная способность приемника	дБ	–27	–27	–27	–27
ПРИМЕЧАНИЕ. – Необходимо, чтобы BER для этих прикладных кодов удовлетворял требованиям только после применения коррекции ошибок (если таковая используется). BER на входе декодера FEC может поэтому быть значительно выше, чем 10^{-12} .					

**Таблица 8-2 – Параметры и значения физического уровня для класса NRZ 2.5G,
приложения большой протяженности с частотным разделением в 100 ГГц**

Параметр	Единицы измерения	DN100L-1D2(C) DN100L-1D3(L) DN100L-1D5(C)	DW100L-1D2(C) DW100L-1D3(L) DW100L-1D5(C)	DN100L-1D2(C)F DN100L-1D3(L)F DN100L-1D5(C)F	DW100L-1D2(C)F DW100L-1D3(L)F DW100L-1D5(C)F
Общая информация					
Минимальный разнос каналов	ГГц	100		100	
Битовая скорость/линейное кодирование оптического трибутарного сигнала	–	NRZ 2.5G		NRZ OTU1	
Максимальный коэффициент ошибок по битам	–	10^{-12}		10^{-12} (Примечание 1)	
Тип волокна	–	G.652, G.653, G.655		G.652, G.653, G.655	
Интерфейс в точке S_s					
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+4		+4	
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	0		0	
Минимальная центральная частота	ТГц	191,5 для (C) 186,0 для (L)		191,5 для (C) 186,0 для (L)	
Максимальная центральная частота	ТГц	196,2 для (C) 191,5 для (L)		196,2 для (C) 191,5 для (L)	
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	$\pm 12,5$ ± 20		$\pm 12,5$ ± 20	
Минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30		30	
Минимальный коэффициент поглощения	дБ	8,2		8,2	
Глазковая маска	–	NRZ 2.5G по МСЭ-Т G.959.1		NRZ 2.5G по МСЭ-Т G.959.1	
Оптический тракт от точки S_s до R_s					
Максимальные вносимые потери канала	дБ	25,5		28,5	
Минимальные вносимые потери канала	дБ	13		13	
Максимальная неравномерность	дБ	2		2	
Максимальная хроматическая дисперсия	пс/нм	1 400 (Примечание 2)		1 600	
Минимальные оптические возвратные потери в S _s	дБ	24		24	
Максимальная дискретная отражательная способность между S _s и R _s	дБ	–27		–27	
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	120		120	
Максимальные межканальные перекрестные помехи	дБ	–16		–16	
Максимальные интерферометрические перекрестные помехи	дБ	–45		–45	
Интерфейс в точке R_s					
Максимальная средняя входная мощность в канале	дБм	–9		–9	
Минимальная чувствительность приемника	дБм	–28		–31	
Максимальный штраф оптического тракта	дБ	2,5		2,5	
Максимальная отражательная способность приемника	дБ	–27		–27	
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Необходимо, чтобы BER для этих прикладных кодов удовлетворял требованиям только после применения коррекции ошибок (если таковая используется). BER на входе декодера FEC может поэтому быть значительно выше, чем 10^{-12}. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В случаях, когда максимальная битовая скорость ограничена значением 2,488 Гбит/с (STM-16), применяется максимальная хроматическая дисперсия 1600 пс/нм.					

**Таблица 8-3 – Параметры и значения физического уровня для класса NRZ 10G,
приложения малой протяженности с частотным разделением в 100 ГГц**

Параметр	Единицы измерения	DN100S-2D2(C) DN100S-2D3(L) DN100S-2D5(C)	DW100S-2D2(C) DW100S-2D3(L) DW100S-2D5(C)	DN100S-2D2(C)F DN100S-2D3(L)F DN100S-2D5(C)F	DW100S-2D2(C)F DW100S-2D3(L)F DW100S-2D5(C)F
Общая информация					
Минимальный разнос каналов	ГГц	100	100	100	100
Битовая скорость/линейное кодирование оптического трибутарного сигнала	–	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ OTU2 с возможностью FEC	NRZ OTU2 с возможностью FEC
Максимальный коэффициент ошибок по битам	–	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12} (Примечание)	10^{-12} (Примечание)
Тип волокна	–	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655
Интерфейс в точке S_s					
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+3	+3	+3	+3
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	–1	–1	–1	–1
Минимальная центральная частота	ТГц	191,5 для (C) 186,0 для (L)	191,5 для (C) 186,0 для (L)	191,5 для (C) 186,0 для (L)	191,5 для (C) 186,0 для (L)
Максимальная центральная частота	ТГц	196,2 для (C) 191,5 для (L)	196,2 для (C) 191,5 для (L)	196,2 для (C) 191,5 для (L)	196,2 для (C) 191,5 для (L)
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	$\pm 12,5$	$\pm 12,5$	$\pm 12,5$	$\pm 12,5$
Минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30	30	30	30
Минимальный коэффициент поглощения	дБ	8,2	8,2	8,2	8,2
Глазковая маска	–	NRZ 10G область 1550 нм по МСЭ-T G.959.1	NRZ 10G область 1550 нм по МСЭ-T G.959.1	NRZ 10G область 1550 нм по МСЭ-T G.959.1	NRZ 10G область 1550 нм по МСЭ-T G.959.1
Оптический тракт от точки S_s до R_s					
Максимальные вносимые потери канала	дБ	18,5	18,5	21,5	21,5
Минимальные вносимые потери канала	дБ	10	10	10	10
Максимальная неравномерность	дБ	2	2	2	2
Максимальная хроматическая дисперсия	пс/нм	1 100	1 100	1 400	1 400
Минимальные оптические возвратные потери в S _s	дБ	24	24	24	24
Максимальная дискретная отражательная способность между S _s и R _s	дБ	–27	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30	30
Максимальные межканальные перекрестные помехи	дБ	–16	–16	–16	–16
Максимальные интерферометрические перекрестные помехи	дБ	–45	–45	–45	–45
Интерфейс в точке R_s					
Максимальная средняя входная мощность в канале	дБм	–7	–7	–7	–7
Минимальная чувствительность приемника	дБм	–22	–22	–25	–25
Максимальный штраф оптического тракта	дБ	2,5	2,5	2,5	2,5
Максимальная отражательная способность приемника	дБ	–27	–27	–27	–27
ПРИМЕЧАНИЕ. – Необходимо, чтобы BER для этих прикладных кодов удовлетворял требованиям только после применения коррекции ошибок (если таковая используется). BER на входе декодера FEC может поэтому быть значительно выше, чем 10^{-12} .					

**Таблица 8-4 – Параметры и значения физического уровня для класса NRZ 10G,
приложения большой протяженности с частотным разделением в 100 ГГц**

Параметр	Единицы измерения	DN100L-2D2(C) DN100L-2D3(L) DN100L-2D5(C)	DW100L-2D2(C) DW100L-2D3(L) DW100L-2D5(C)	DN100L-2D2(C)F DN100L-2D3(L)F DN100L-2D5(C)F	DW100L-2D2(C)F DW100L-2D3(L)F DW100L-2D5(C)F
Общая информация					
Минимальный разнос каналов	ГГц	100	100	100	100
Битовая скорость/линейное кодирование оптического трибутарного сигнала	–	NRZ 10G	NRZ 10G	NRZ OTU2 с возможностью FEC	NRZ OTU2 с возможностью FEC
Максимальный коэффициент ошибок по битам	–	10^{-12}	10^{-12}	10^{-12} (Примечание)	10^{-12} (Примечание)
Тип волокна	–	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655
Интерфейс в точке S_s					
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+6	+6	+6	+6
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+3	+3	+3	+3
Минимальная центральная частота	ТГц	191,5 для (C) 186,0 для (L)	191,5 для (C) 186,0 для (L)	191,5 для (C) 186,0 для (L)	191,5 для (C) 186,0 для (L)
Максимальная центральная частота	ТГц	196,2 для (C) 191,5 для (L)	196,2 для (C) 191,5 для (L)	196,2 для (C) 191,5 для (L)	196,2 для (C) 191,5 для (L)
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	$\pm 12,5$	$\pm 12,5$	$\pm 12,5$	$\pm 12,5$
Минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30	30	30	30
Минимальный коэффициент поглощения	дБ	9	9	9	9
Глазковая маска	–	NRZ 10G область 1550 нм по МСЭ-T G.959.1	NRZ 10G область 1550 нм по МСЭ-T G.959.1	NRZ 10G область 1550 нм по МСЭ-T G.959.1	NRZ 10G область 1550 нм по МСЭ-T G.959.1
Оптический тракт от точки S_s до R_s					
Максимальные вносимые потери канала	дБ	24,5	24,5	27,5	27,5
Минимальные вносимые потери канала	дБ	13	13	13	13
Максимальная неравномерность	дБ	2	2	2	2
Максимальная хроматическая дисперсия	пс/нм	1 600	1 600	1 700	1 700
Минимальные оптические возвратные потери в S _s	дБ	24	24	24	24
Максимальная дискретная отражательная способность между S _s и R _s	дБ	–27	–27	–27	–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс	30	30	30	30
Максимальные межканальные перекрестные помехи	дБ	–16	–16	–16	–16
Максимальные интерферометрические перекрестные помехи	дБ	–45	–45	–45	–45
Интерфейс в точке R_s					
Максимальная средняя входная мощность в канале	дБм	–7	–7	–7	–7
Минимальная чувствительность приемника	дБм	–24	–24	–27	–27
Максимальный штраф оптического тракта	дБ	2,5	2,5	2,5	2,5
Максимальная отражательная способность приемника	дБ	–27	–27	–27	–27
ПРИМЕЧАНИЕ. – Необходимо, чтобы BER для этих прикладных кодов удовлетворял требованиям только после применения коррекции ошибок (если таковая используется). BER на входе декодера FEC может поэтому быть значительно выше, чем 10^{-12} .					

**Таблица 8-5 – Параметры и значения физического уровня для класса NRZ 10G,
приложения с частотным разделением в 50 ГГц**

Параметр	Единицы измерения	DN50S-2D2(C) DN50S-2D3(L) DN50S-2D5(C)	DN50L-2D2(C) DN50L-2D3(L) DN50L-2D5(C)	DN50S-2D2(C)F DN50S-2D3(L)F DN50S-2D5(C)F	DN50L-2D2(C)F DN50L-2D3(L)F DN50L-2D5(C)F
Общая информация					
Минимальный разнос каналов	ГГц	50		50	
Битовая скорость/линейное кодирование оптического трибутарного сигнала	–	NRZ 10G		NRZ OTU2, с возможностью FEC	
Максимальный коэффициент ошибок по битам	–	10 ⁻¹²		10 ⁻¹² (Примечание 1)	
Тип волокна	–	G.652, G.653, G.655		G.652, G.653, G.655	
Интерфейс в точке S_s					
Максимальная средняя выходная мощность канала	дБм	+3	+6	+3	+6
Минимальная средняя выходная мощность канала	дБм	–1	+3	–1	+3
Минимальная центральная частота	ТГц	191,5 для (C) 186,0 для (L)		191,5 для (C) 186,0 для (L)	
Максимальная центральная частота	ТГц	196,2 для (C) 191,5 для (L)		196,2 для (C) 191,5 для (L)	
Максимальная спектральная амплитуда	ГГц	±12,5 (±11 Примечание 2)		±12,5 (±11 Примечание 2)	
Минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30		30	
Минимальный коэффициент поглощения	дБ	8,2	9	8,2	9
Глазковая маска	–	Область NRZ 10G 1550 нм по МСЭ-T G.959.1		Область NRZ 10G 1550 нм по МСЭ-T G.959.1	
Оптический тракт от точки S_s до R_s					
Максимальные вносимые потери канала	дБ	18,5	24,5	21,5	27,5
Минимальные вносимые потери канала	дБ	10	13	10	13
Максимальная неравномерность	дБ		2		2
Максимальная хроматическая дисперсия	пс/нм	1100	1600	1400	1700
Минимальные оптические возвратные потери в S _s	дБ		24		24
Максимальная дискретная отражательная способность между S _s и R _s	дБ		–27		–27
Максимальная дифференциальная групповая задержка	пс		30		30
Максимальные межканальные перекрестные помехи	дБ		–16		–16
Максимальные интерферометрические перекрестные помехи	дБ		–45		–45
Интерфейс в точке R_s					
Максимальная средняя входная мощность в канале	дБм		–7		–7
Минимальная чувствительность приемника	дБм	–22	–24	–25	–27
Максимальный штраф оптического тракта	дБ		2,5		2,5
Максимальная отражательная способность приемника	дБ		–27		–27
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Необходимо, чтобы BER для этих прикладных кодов удовлетворял требованиям только после применения коррекции ошибок (если таковая используется). BER на входе декодера FEC может поэтому быть значительно выше, чем 10 ⁻¹² .					
ПРИМЕЧАНИЕ. 2 – Для использования общего передатчика для данного приложения, а также для прикладного кода со скоростью 10 Гбит/с и с разносом каналов, составляющим 50 ГГц, в [ITU-T G.698.2], может потребоваться снижение максимальной спектральной амплитуды передатчика до ±11 ГГц. В таковом случае ширина для спецификации неравномерности "черного звена" может быть уменьшена до ±11 ГГц.					

9 **Соображения в отношении оптической безопасности**

Соображения в отношении оптической безопасности изложены в Р ITU-T G.664], [IEC 60825-1] и [IEC 60825-2].

Дополнение I

Число OADM, поддерживаемых в звене

(Это Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

I.1 Введение

Максимальное число OADM, которое может поддерживаться в звене, и максимальная длина звена ограничиваются параметрами, характеризующими оптический тракт между точками S_S и R_S (см. таблицы с 8-1 по 8-5).

В настоящем Дополнении представлены некоторые указания по порядку оценки максимального числа OADM, которое может поддерживаться в звене, и максимальной длины самого звена.

I.2 Максимальные вносимые потери канала

Значение "Максимальные вносимые потери канала", указанное в таблицах с 8-1 по 8-5, включает затухание оборудования OM/OD, OADM и волоконно-оптических линий.

Максимальное число OADM может быть рассчитано следующим образом:

$$\text{Число OADM} \leq \frac{\text{Макс. вносимые потери канала} - \text{Потери OM} - \text{Суммарные потери волокна} - \text{Потери OD}}{\text{Вносимые потери OADM}}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ. – Затухание OADM жестко зависит от его типа (фиксированный, с изменяемой конфигурацией и т. д.).

Если потребное число OADM известно, это ограничение может быть скорректировано для установления максимальной протяженности волокна:

$$\begin{aligned} &\text{Максимальная длина волокна} \\ &\leq \frac{\text{Макс. вносимые потери канала} - \text{Потери OM} - \text{Суммарные потери OADM} - \text{Потери OD}}{\text{Потери волокна на единицу длины (включая стыки и т. д.)}}. \end{aligned}$$

I.3 Максимальная неравномерность

Максимальная неравномерность может также налагать определенные ограничения на число каскадно соединенных OADM в системе DWDM.

Воздействие неравномерности зависит от того, какие каналы вставляются или выводятся в каскадных схемах. Если в каждом пункте находится одинаковый канал (что может быть на практике), неравномерность устройства будет воздействовать, как правило, на тот же соседний канал в каждом пункте OADM. Если желательно сохранять полную гибкость для вставки и вывода каналов или группы каналов в каждом OADM (например, с реконфигурируемыми OADM), то число OADM ограничивается следующим образом:

$$\text{Число OADM} \leq \frac{\text{Максимальная неравномерность} - \text{Неравномерность OM} - \text{Неравномерность OD}}{\text{Неравномерность OADM}}.$$

Значение неравномерности OADM здесь – это неравномерность, обнаруживаемая любым каналом, который проходит напрямую через OADM.

Существует, однако, несколько способов ослабления этого ограничения. Если проект системы DWDM предусматривает ленточную структуру, (например, четыре используемых каналов и два интервала, четыре используемых каналов и два интервала и т. д.), возможно за один раз выводить группу из четырех каналов. Далее фильтры OADM имеют два неиспользуемых канала, в которых время спада и непрерывность в ближайшем используемом соседнем к выводимой группе канале могут быть очень малыми, увеличивая таким образом число OADM, которые могут быть каскадно соединены до ограничения вследствие неравномерности.

I.4 Максимальная хроматическая дисперсия

Как указано в п. 7.3.3, максимальные значения хроматической дисперсии для каждого приложения были рассчитаны путем деления максимальных вносимых потерь канала (с поправкой на вычитенные из них потери пары OM/OD) на 0,21 дБ/км. В случае, если значения дисперсии, полученные этим методом, были сочтены выше целесообразных для современных эффективных по затратам оптических передатчиков, значения дисперсии уменьшались в соответствии с существующей в настоящее время технологической возможностью. Таким образом, если отношение хроматической дисперсии к вносимым потерям любого OADM, вставленного в звено, меньше или равно этому отношению волокна, которое его заменяет (около 68 пс/нм/дБ в наихудшем случае), этот параметр не ограничивает общего числа OADM в любом одном звене. Однако если вышеуказанное отношение выше отношения волокна, тогда число OADM может вводить ограничение на максимальную длину звена для некоторых прикладных кодов (в частности для пары OM/OD с малыми потерями).

Во всех случаях (включая отсутствие OADM) длина звена ограничивается следующим значением:

$$\text{Максимальная длина волокна} \leq \frac{\text{Макс. хроматическая дисперсия} - \text{Суммарная дисперсия OM, OADM и OD}}{\text{Дисперсия волокна на единицу длины}}.$$

I.5 Отражения

Как описано в п. 7.3.5, максимальное число соединителей или других дискретных точек отражения, которые могут быть включены в оптический тракт (который содержит любые OADM и связанные с ними соединители), должно быть таким, чтобы обеспечить возможность получения соответствующих спецификации общих оптических возвратных потерь. Учитывая, что расстояния и потери между всеми отражениями от OADM и любых соответствующих соединителей будут неизвестны, здесь не приводятся какие-либо руководящие указания относительно обусловливаемых этим ограничений на число OADM в звене.

Значения максимальной дискретной отражательной способности между S_S и R_S , приведенные в таблицах с 8-1 по 8-5, могут оказаться недостаточными для обеспечения соответствия минимальным оптическим возвратным потерям в S_S в случае большого числа OADM в звене.

Если определенные в спецификации "Минимальные оптические возвратные потери в S_S " или "Максимальная дискретная отражательная способность между SS и RS " не обеспечиваются, должны использоваться компоненты, имеющие лучшие показатели отражения, и/или должно быть уменьшено число дискретных точек отражения. Информация об измерении отражений содержится в [b-IEC 61300-3-6].

I.6 Максимальная дифференциальная групповая задержка

Максимальная дифференциальная групповая задержка (DGD), указанная в таблицах с 8-1 по 8-5, это максимальная дифференциальная групповая задержка целого звена между точками S_S и R_S .

Приведенное ниже уравнение может использоваться для расчета максимальной DGD звена (содержащего несколько OADM и секций волокна) с определенной вероятностью превышения.

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

где:

$DGD_{\max_{link}}$: максимальная DGD звена (пс);

$DGD_{\max_F}$: максимальная DGD соединенного в цепь волоконно-оптического кабеля (пс);

S : поправочный коэффициент Максвелла (отношение максимума к среднему см. в таблице 7-2);

PMD_{Oi} : значение PMD i -го OADM (пс).

В этом уравнении принято, что статистика мгновенной DGD аппроксимируется распределением Максвелла с вероятностью мгновенной DGD, превышающей $DGD_{\max_{link}}$, которая контролируется

значением поправочного коэффициента Максвелла (отношение максимума к среднему) из таблицы 7-2.

Более подробные сведения содержатся в [b-ITU-T G.650.2] и [b-ITU-T G.696.1]. Значение DGD_{max_F} (максимальная DGD, обусловленная частью волокна) может либо измеряться или, как альтернативный вариант, может быть рассчитан верхний предел для данной протяженности волокна с использованием коэффициента PMDQ из соответствующей Рекомендации, относящейся к волокну.

I.7 Максимальные интерферометрические перекрестные потери

Интерферометрические перекрестные помехи могут возникать, если в данном конкретном звене какой-либо канал используется несколько раз. Если OADM не полностью гасит сигнал из выведенного канала, то он может создавать помеху для сигнала в том же канале, когда этот канал впоследствии вводится. Однако, если этот процесс происходит дважды (канал выводится, вводится, выводится и опять вводится), сигнал из первого источника будет погашен обоими OADM, где этот канал выводится, и интерферометрические перекрестные помехи будут подавлены функционированием последнего OADM, который вывел и добавил этот канал. Этот параметр, таким образом, не ограничивает числа OADM в звене.

Библиография

- [b-ITU-T G-Sup.39] Рекомендации МСЭ-Т серии G – Добавление 39 (2006 г.), *Рассмотрение вопросов расчета и проектирования оптических систем.*
- [b-ITU-T G.650.2] Recommendation ITU-T G.650.2 (2007), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*
- [b-ITU-T G.696.1] Рекомендация МСЭ-Т G.696.1 (2005 г.), *Внутридоменные приложения плотного волнового уплотнения (DWDM), совместимые в продольном направлении.*
- [b-ITU-T G.8251] Recommendation ITU-T G.8251 (2001), *The control of jitter and wander within the optical transport network (OTN).*
- [b-IEC 61300-3-6] IEC 61300-3-6 (2008), *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-6: Examinations and measurements – Return loss.*

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	Оконечное оборудование, субъективные и объективные методы оценки
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 протокола Интернет и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи