

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.697

(02/2012)

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

Характеристики среды передачи и оптических
систем – Характеристики оптических систем

Оптический контроль систем плотного мультиплексирования с разделением по длине волны

Рекомендация МСЭ-Т G.697

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G
СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЧ-СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	G.600–G.699
Общие положения	G.600–G.609
Симметричные кабельные пары	G.610–G.619
Наземные коаксиальные кабельные пары	G.620–G.629
Подводные кабели	G.630–G.639
Оптические системы в свободном пространстве	G.640–G.649
Волоконно-оптические кабели	G.650–G.659
Характеристики оптических компонентов и подсистем	G.660–G.679
Характеристики оптических систем	G.680–G.699
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	G.7000–G.7999
АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ	G.8000–G.8999
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

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

Оптический контроль систем плотного мультиплексирования с разделением по длине волны

Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.697 описывается оптический контроль (ОМ), при помощи которого в системах плотного мультиплексирования с разделением по длине волны (DWDM) могут выполняться следующие действия:

- управление конфигурацией для активации систем и каналов, добавления новых каналов и т. д.;
- обработка отказов, которая заключается в обнаружении и локализации неисправностей;
- обработка ухудшения эксплуатационных характеристик для поддержания работоспособности системы и выявления ухудшения характеристик до возникновения неисправностей.

Технология DWDM развивается быстрыми темпами, при этом непрерывно расширяются число каналов, скоростные характеристики каналов и пределы охвата. Многопролетные системы DWDM большой протяженности способны принимать оптические сигналы за тысячи километров без применения электрических оконечных устройств или регенерации.

Эти постоянные тенденции являются причиной возрастающего значения оптического контроля, которому посвящена настоящая Рекомендация.

В данном издании настоящей Рекомендации приведена информация по изменениям мощности оптических каналов, связанным с отклонениями коэффициента усиления, а также результаты измерений отношения "оптический сигнал/шум" (OSNR). Представлены также новые дополнения, касающиеся возможного местоположения оборудования контроля и кодирования параметров.

Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждено	Исследовательская комиссия
1.0	МСЭ-Т G.697	13.06 2004 г.	15-я
2.0	МСЭ-Т G.697	13.11 2009 г.	15-я
2.1	МСЭ-Т G.697 (2009 г.), Испр. 1	25.02 2011 г.	15-я
3.0	МСЭ-Т G.697	13.02 2012 г.	15-я

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 2014

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	Справочные документы	1
2.1	Нормативные справочные документы	1
3	Термины и определения	2
3.1	Термины, определяемые в других документах	2
3.2	Термины, определяемые в настоящей Рекомендации	2
4	Сокращения и акронимы	2
5	Общее представление об оптическом контроле	3
6	Классификация методов контроля	5
6.1	Контроль сигналов	5
6.2	Контроль оборудования (косвенные методы)	6
6.3	Встроенное оборудование контроля	6
6.4	Внешнее оборудование контроля	6
7	Ухудшение оптических характеристик	6
8	Параметры оптического контроля	8
9	Корреляция между влиянием ухудшений на оптическом уровне и ухудшением параметров оптического контроля	8
9.1	Изменение затухания	8
9.2	Отклонение частоты (или длины волны) от номинального значения	8
9.3	Изменения мощности оптического канала, связанные с отклонениями коэффициента усиления	9
10	Приложения	9
11	Вопросы безопасности оптической связи	9
	Дополнение I – Серьезность случаев ухудшений на оптическом уровне	10
	Дополнение II – Значение X для оценки серьезности ухудшения	12
	Дополнение III – Эксплуатационные характеристики оптического контроля	13
	III.1 Измерение OSNR	15
	III.2 Измерение Q-фактора	19
	Дополнение IV – Возможные варианты размещения соответствующего оборудования контроля и их сравнительные характеристики для некоторых элементов оптических сетей	22
	IV.1 Введение	22
	IV.2 Встроенные точки контроля	23
	IV.3 Внешние точки контроля	25

	Стр.
ДОПОЛНЕНИЕ V – Кодирование параметров.....	27
V.1 Идентификатор длины волны (32 бита)	27
V.2 Источник ID-параметров (8 битов)	28
V.3 ID-параметр (8 битов).....	28
V.4 Значение параметров (32 бита).....	28
Библиография	29

Введение

В полностью регенерированных оптических сетях ко всем сетевым элементам, как правило, применяются оптоэлектрические преобразования. Характеристики передачи измеряются на электрическом уровне при помощи эксплуатационных параметров, в частности секунд с ошибками (ES) и секунд, пораженных ошибками (SES). Поскольку в состав структуры кадра синхронной цифровой иерархии (SDH) входят встроенные служебные сигналы для измерения помехозащищенности на уровнях участка, линии и трактов, измерение эксплуатационных характеристик на всех сетевых элементах полностью регенерированной сети SDH не представляет особой сложности. Существующие оптические сети, как правило, включают множество прозрачных элементов оптических сетей между точками электрической регенерации. В связи с этим для оценки состояния оптического канала (OCh) необходим контроль эксплуатационных характеристик в оптической области.

Кроме того, технология DWDM развивается быстрыми темпами, при этом непрерывно расширяются число каналов, скоростные характеристики каналов и пределы охвата. Многопролетные системы DWDM большой протяженности способны принимать оптические сигналы за тысячи километров без применения электрических оконечных устройств или регенерации. Таким образом уменьшается количество точек электрического контроля.

Рекомендация МСЭ-Т G.697 является первым шагом на пути к решению данных требований при помощи оптического контроля.

Оптический контроль систем плотного мультиплексирования с разделением по длине волны

1 Сфера применения

Целью настоящей Рекомендации является указание минимального, но не исчерпывающего набора оптических параметров, который может использоваться для выполнения функций оптического контроля (ОМ) в системах плотного мультиплексирования с разделением по длине волны (DWDM) и оптических сетевых элементах (например, в реконфигурируемых оптических мультиплексорах ввода-вывода (ROADM)), в частности относящихся к сетевым элементам, не подвергаемым оптико-электронно-оптическим преобразованиям. В целях выполнения данной задачи, настоящая Рекомендация:

- 1) указывает методы измерения ухудшения характеристик оптического сигнала;
- 2) классифицирует эти методы по типу;
- 3) определяет подходящие оптические параметры для обнаружения ухудшения характеристик оптического сигнала; а также
- 4) описывает приложения или условия, в которых данные оптические параметры могут быть подходящими.

В настоящей Рекомендации рассматриваются системы DWDM и элементы оптических сетей с оптическими каналами, скорость битов в которых достигает приблизительно 10 Гбит/с, и используется кодирование линий без возврата к нулю (NRZ) или с возвратом к нулю (RZ). Значения скорости битов выше 10 Гбит/с и системы, использующие другие форматы модуляции, подлежат дальнейшему изучению.

2 Справочные документы

2.1 Нормативные справочные документы

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие справочные документы 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 справочные документы могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других справочных документов, 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.650.2] Рекомендация МСЭ-Т G.650.2 (2007 г.), *Определения и методы тестирования статистических и нелинейных взаимосвязанных атрибутов одномодового волокна и кабеля.*
- [ITU-T G.652] Рекомендация МСЭ-Т G.652 (2005 г.), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля.*
- [ITU-T G.653] Рекомендация МСЭ-Т G.653 (2006 г.), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со сдвигом дисперсии.*
- [ITU-T G.655] Рекомендация МСЭ-Т G.655 (2006 г.), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля с ненулевым дисперсионным смещением.*
- [ITU-T G.663] Recommendation ITU-T G.663 (2000), *Application-related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- [ITU-T G.664] Рекомендация МСЭ-Т G.664 (2006 г.), *Процедуры и требования к обеспечению оптической безопасности оптических транспортных систем.*
- [ITU-T G.692] Recommendation ITU-T G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- [ITU-T O.201] Рекомендация МСЭ-Т O.201 (2003 г.), *Аппаратура измерения Q-фактора для оценки качественных показателей передачи оптических каналов.*

3 Термины и определения

3.1 Термины, определяемые в других документах

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определяемые в [ITU-T G.650.2]:

- вынужденное рассеяние Бриллюэна (SBS).

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определяемые в [ITU-T G.663]:

- поляризационная модовая дисперсия (PMD) (1-го и более высоких порядков);
- четырехволновое смешение (FWM);
- шум в ОУ, связанный с усиленным спонтанным излучением (ASE);
- хроматическая дисперсия;
- отражения (см. "отражающая способность");
- перекрестная фазовая модуляция (XPM);
- фазовая автомодуляция (SPM);
- вынужденное рассеяние Рамана (SRS).

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определяемые в [ITU-T G.692]:

- отклонение частоты (или длины волны) от номинального значения (см. "отклонение центральной частоты").

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определяемые в [ITU-T O.201]:

- Q-фактор.

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определяемые в [b-ITU-T G-Sup.39]:

- отношение оптический сигнал/шум (OSNR);
- перекрестные помехи между каналами;
- интерферометрические перекрестные помехи.

3.2 Термины, определяемые в настоящей Рекомендации

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины.

3.2.1 наклон хроматической дисперсии (chromatic dispersion slope): Угол наклона кривой коэффициента хроматической дисперсии в зависимости от длины волны.

3.2.2 регенерируемые полностью оптические сети (fully regenerated optical networks): Оптические сети, в которых осуществляется оптико-электронно-оптическое преобразование в каждом сетевом элементе с применением повторного усиления, восстановления формы сигнала и восстановления синхронизации (3R).

3.2.3 прозрачный элемент оптической сети (transparent optical network element): Элемент оптической сети, в котором не происходит оптико-электронно-оптического преобразования оптического сигнала.

4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы.

3R	Re-amplification, Reshaping and Retiming	Повторное усиление, восстановление формы сигнала и восстановление синхронизации
ASE	Amplified Spontaneous Emission	Усиленное спонтанное излучение
BER	Bit Error Ratio	Коэффициент ошибок по битам
DCM	Dispersion Compensation Module	Модуль компенсации дисперсии
Demux	Demultiplexer	Демультиплексор
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Плотное мультиплексирование с разделением по длине волны

EME	Embedded Monitoring Equipment	Встроенное оборудование контроля
EMP	External Monitoring Point	Внешняя контрольная точка
ES	Errored Second	Секунда с ошибками
ESR	Errored Second Ratio	Коэффициент ошибок по секундам с ошибками
FWM	Four-Wave Mixing	Четырехволновое смешение
Mux	Multiplexer	Мультиплексор
NOC	Network Operations Centre	Центр эксплуатации сети
NRZ	Non-Return to Zero	Без возврата к нулю
OA	Optical Amplification	Оптическое усиление
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer	Оптический мультиплексор с функцией ввода-вывода
OD	Optical Demultiplexing	Оптическое демультиплексирование
OLA	Optical Line Amplifier	Оптический линейный усилитель
OM	Optical Monitoring	Оптический контроль
OM	Optical Multiplexing	Оптическое мультиплексирование
ONE	Optical Network Element	Элемент оптической сети
OSA	Optical Spectrum Analyser	Оптический анализатор спектра
OSNR	Optical Signal-to-Noise Ratio	Отношение оптический сигнал/шум
OTN	Optical Transport Network	Оптическая транспортная сеть
PDL	Polarization-Dependent Loss	Потери, зависящие от поляризации
PMD	Polarization Mode Dispersion	Поляризационная модовая дисперсия
ROADM	Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer	Реконфигурируемый оптический мультиплексор с функцией ввода-вывода
RZ	Return to Zero	С возвратом к нулю
SBS	Stimulated Brillouin Scattering	Вынужденное рассеяние Бриллюэна
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Синхронная цифровая иерархия (СЦИ)
SES	Severely Errored Second	Секунды, пораженные ошибками
SESR	Severely Errored Second Ratio	Коэффициент ошибок по секундам, пораженным ошибками
SLA	Service Level Agreement	Соглашение об уровне обслуживания
SPM	Self Phase Modulation	Фазовая автомодуляция
SRS	Stimulated Raman Scattering	Вынужденное рассеяние Рамана
XPM	Cross Phase Modulation	Перекрестная фазовая модуляция

5 Общее представление об оптическом контроле

Управление существующими сетями СЦИ основано на контроле цифровых параметров, в частности коэффициента ошибок по битам (BER), коэффициента ошибок по секундам с ошибками (ESR) и коэффициента ошибок по секундам, пораженным ошибками (SESR), которые измеряются на электрическом уровне (в регенераторах 3R), согласно описанию, приведенному в [b-ITU-T G.826].

Аналогичный подход используется в OTN (с использованием кадровой синхронизации МСЭ-Т G.709) для контроля сквозных соединений и оптических соединений на электрическом уровне.

Хотя при помощи указанных методов можно получить достоверные результаты измерений сквозных характеристик оптического канала, они не могут применяться внутри прозрачных оптических областей, в которых отсутствуют регенераторы 3R, способные завершить восстановление заголовка кадра. Таким образом, они не могут предоставить информацию, достаточную для выявления основной причины проблем в сетях DWDM, имеющих сложную структуру.

Кроме того, быстрое развитие оптических технологий приводит к постоянному увеличению количества каналов и скоростей передачи, а также к увеличению длины полностью оптических соединений в пределах оптической области.

Это приводит к росту влияния линейных и нелинейных искажений, что еще более усложняет ввод систем в эксплуатацию.

Оптимальное решение для оптической транспортной сети включает следующие пункты:

- правильно сконструированную сеть, позволяющую ограничивать влияние источников шума, дисперсии и интермодуляции;
- надлежащие системы оповещения для активных оптических компонентов в составе сети, способные обнаруживать и локализовывать неисправности;
- использование соответствующего оптического контроля по всей сети, позволяющего отслеживать наиболее важные оптические параметры.

Указанные три вида действий по отдельности не могут гарантировать получение надлежащего качества оптического соединения, но их сочетание позволяет получить подходящее решение для управления оптическими транспортными сетями.

Надлежащий уровень оптического контроля обеспечивает некоторую прозрачность структуры оптических сетей, гарантируя правильную конфигурацию трасс при организации каналов и соответствие оптических параметров требованиям бесперебойного предоставления услуг. Сбор данных оптического контроля в центре эксплуатации сети (NOC) упрощает управление сложными сетями DWDM.

Задачи оптического контроля заключаются в обнаружении аномалий, дефектов, ухудшения характеристик и неисправностей, влияющих на качество оптического уровня. Оптические параметры, подлежащие контролю, должны быть заданы и определены в соответствии с конкретными требованиями.

Возможность совершенствования сквозного контроля при помощи распределенного оптического контроля может быть выгодна для управления конфигурацией и обработки неисправностей/ухудшений как с точки зрения надежности, так и с экономической точки зрения, поскольку некоторые дефекты, ухудшения характеристик и неисправности, влияющие на качество оптического уровня, проще обнаруживать и локализовывать при помощи оптического контроля.

Эффекты старения, изменения в уровнях шумов, связанные с изменениями температуры и влажности, представляют собой нарушения, которые могут серьезно ухудшить качество передачи сигнала. Оптический контроль предоставляет надежный способ обнаружения таких ухудшений.

Оптический контроль – это упреждающий процесс, который может быть полезным для управления SLA и снижения эксплуатационных расходов (хотя это зачастую происходит за счет увеличения расходов на оборудование). Значимость оптического контроля растет по мере того, как поддержание высокой степени надежности оборудования, в сочетании с возможностью быстрой диагностики ухудшений характеристик и неисправностей, а также поиска и устранения проблем в сетях, становится все более и более сложным в связи с возрастанием сложности сетей.

Оптический контроль является важным дополнением к методам контроля, применяемым в цифровых клиентских уровнях сетей оптического уровня.

Оптический контроль является ключевым элементом в управлении оптическими сетями, так как управлять можно только тем, что можно измерить.

В то время как оптический контроль внедряется (и уже действует) во многих существующих системах оптической передачи данных, между ними существуют значительные различия в требованиях к оптическому контролю. Это связано с наличием различных схем проектирования систем передачи и управления, а также различных стратегий устранения неисправностей в различных системах. По этой причине невозможно сформулировать общее требование о том, какое значение параметра и с какой конкретной точностью является достоверным показателем рабочего состояния

подобной системы. Даже в пределах одной системы важные параметры могут различаться в разных сетевых элементах, а требования к контролю, даже для внутреннего управления, отличаются для различных элементов сети. Таким образом, общее требование о контроле конкретных параметров обычно приводит к недостаточно оптимальным (и, следовательно, экономически неэффективным) решениям. Поэтому подходящая схема оптического контроля всегда связана с определенной схемой проектирования системы передачи и управления, техническими правилами и реализацией методов устранения неисправностей в подобной системе. Однако некоторые варианты контроля все же могут быть определены на основе того, что практически осуществимо с технической точки зрения, и на основе требований сетевых операторов, как изложено в настоящей Рекомендации.

6 Классификация методов контроля

В нижеследующих разделах приводится описание двух различных методов контроля, а именно: метода временной области и метода частотной области, объясняются различия между контролем сигналов и контролем оборудования, а также различия между встроенными и внешними устройствами контроля.

6.1 Контроль сигналов

Настоящая Рекомендация ограничивается рассмотрением измерений, позволяющих осуществлять контроль качества оптических сигналов без вмешательства в режим работы действующих линий связи.

Методы, описываемые в настоящей Рекомендации, подразумевают не столько измерения каждого отдельного вида нарушений, перечисленных в таблице 1, сколько измерения влияний этих нарушений на параметры, которые могут быть измерены.

Здесь следует упомянуть о различиях между методами измерений в частотной и временной областях.

6.1.1 Методы измерений во временной области

Методы, анализирующие поведение оптического сигнала во временной области, имеют тенденцию к более значимому приближению к полномасштабным измерениям BER, чем методы измерений в частотной области. Эти методы чувствительны к воздействию как шумов, так и искажений. Стробоскопические осциллографы и измерители Q-фактора, согласно описанию в [b-ITU-T O.201], характерны для методов выборки (синхронных методов). Однако методы измерений во временной области, как правило, нуждаются в оптическом демультиплексировании, оптоэлектронном преобразовании и, если речь идет о методах выборки, синхронизации со скоростью битов. Также следует учитывать различие в характеристиках эталонного приемника и фактического приемника системы, а также влияние остаточной дисперсии в точке измерения. Данные аспекты рассматриваются в разделе III.2.

6.1.2 Методы измерений в области частоты (или длины волны)

Методы оптического контроля в области частоты/длины волны предусматривают анализ спектральных характеристик оптического сигнала. Общей чертой спектральных методов такого рода является то, что они не производят дискретизацию сигнала и синхронизацию с ним, тем самым полностью исключая эталонный приемник. Как правило в этих методах применяются анализаторы спектра, которые могут иметь различное разрешение, а также могут обладать или не обладать способностью одновременного обнаружения всех каналов.

Простейшим видом спектрального анализа является простой контроль мощности каждого канала. Эта процедура может выполняться, например, при помощи дифракционной решетки и детекторной матрицы, которые контролируют мощность всех каналов одновременно. За счет увеличения сложности и разрешения сферу применения данного метода можно также расширить для просмотра точной формы спектра сигнала.

Основным свойством спектральных методов подобного рода является то, что они представляют собой методы усреднения, и по определению не способны обнаружить импульсные искажения. Это означает, что контроль качества, выполняемый при помощи спектральных методов, будет нечувствителен ко всем видам воздействий, возникающих вследствие искажений.

6.2 Контроль оборудования (косвенные методы)

В косвенных методах используется эмпирическая корреляция между отказами оборудования и качеством сигнала. Отказы оборудования, в частности перебои в подаче питания, температура лазера и т. д., могут быть обнаружены встроенными функциями самодиагностики. Эти показатели скорее всего будут сильно зависеть от системы и особенностей эксплуатации.

Косвенные методы, как правило, указывают, что система работает, и можно предположить, что качество сигнала также снижается, когда значение какого-либо параметра оборудования находится вне заданного диапазона.

Однако правильное значение параметра оборудования не является гарантией целостности сигнала, так как может иметь место ухудшение других характеристик, влияющих на качество сигнала (например, затухание в волоконно-оптическом кабеле).

6.3 Встроенное оборудование контроля

Встроенное измерительное оборудование, как правило, тесно интегрировано с функциями управления того или иного элемента оптической сети. По экономическим соображениям контроль при помощи встроенного оборудования обычно ограничивается несколькими основными параметрами.

Различные точки контроля, расположенные в том же элементе сети, могут совместно использовать встроенное измерительное оборудование.

6.3.1 Точность встроенного оборудования контроля

Желательно, чтобы точность встроенных устройств контроля была достаточно высокой, чтобы обеспечить значимые входные данные для принятия автоматизированных решений по управлению, если таковые определены. Часто этого можно добиться относительно небольшими усилиями по сравнению с измерительной аппаратурой общего назначения, так как во многих случаях интерес представляет только отклонение от известного номинального значения, а нормальный рабочий диапазон сетевых элементов узок.

6.4 Внешнее оборудование контроля

Внешнее оборудование контроля, как правило, служит для других целей, чем встроенное оборудование контроля. Обычно оно используется для измерения дополнительных, более прецизионных эксплуатационных параметров, либо в тех случаях, когда требуется более точное значение определенных эксплуатационных параметров.

В основном этот тип оборудования применяется для выявления неисправностей, которые трудно обнаружить и которые не могут быть локализованы встроенными устройствами контроля, а также для функциональной диагностики и точных измерений параметров в процессе монтажа, пусконаладочных или ремонтных работ.

В отличие от встроенного оборудования контроля, внешние приборы контроля, как правило, не устанавливаются постоянно, а подключаются по мере необходимости к наиболее критичным сегментам сети и используются в интерактивном режиме. В ряде случаев такие приборы управляются дистанционно из центра эксплуатации сети (NOC).

6.4.1 Точность внешнего оборудования контроля

Внешнее оборудование контроля, как правило, обладает более высокой точностью и более широким диапазоном измерения, чем встроенные устройства контроля, поскольку оно должно обеспечивать достоверные абсолютные результаты измерений во всем рабочем диапазоне оптической системы передачи. Более высокая стоимость, обусловленная этими параметрами, может быть распределена между большим количеством оптических сетевых элементов.

7 Ухудшение оптических характеристик

В настоящем разделе представлен перечень и категории основных ухудшений системы на оптическом уровне, которые ограничивают способность системы передавать информацию.

Перечень возможных ухудшений системы приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Ухудшения на оптическом уровне

Тип факторов, приводящих к ухудшению	Относительная частота возникновения	Описание
Затухание	Высокая	
Изменения мощности оптического канала, связанные с отклонениями коэффициента усиления	Высокая	
Отклонение частоты (или длины волны) от номинального значения	Высокая	[ITU-T G.692]
Поляризационная модовая дисперсия (PMD) (1-го и более высоких порядков)	Средняя	Дополнение II [ITU-T G.663]
Четырехволновое смещение (FWM)	Средняя	Дополнение II [ITU-T G.663]
Шум в ОУ, связанный с усиленным спонтанным излучением (ASE)	Средняя	Дополнение II [ITU-T G.663]
Хроматическая дисперсия	Средняя	Дополнение II [ITU-T G.663]
Наклон хроматической дисперсии	Средняя	[ITU-T G.652], [ITU-T G.653], [ITU-T G.655]
Отражения	Средняя	Дополнение III [ITU-T G.663]
Шум лазера	Средняя	
Перекрестные помехи между каналами	Средняя	[b-ITU-T G-Sup.39]
Интерферометрические перекрестные помехи	Средняя	[b-ITU-T G-Sup.39]
Перекрестная фазовая модуляция (XPM)	Низкая	Дополнение II [ITU-T G.663]
Фазовая автомодуляция (SPM)	Низкая	Дополнение II [ITU-T G.663]
Вынужденное рассеяние Бриллюэна (SBS)	Низкая	Дополнение II [ITU-T G.650.2], Дополнение II ITU-T T G.663]
Вынужденное рассеяние Рамана (SRS)	Низкая	Дополнение II [ITU-T G.663]

Все указанные виды ухудшений способны вызвать серьезное снижение качества оптического сигнала вплоть до того, что приемник больше не сможет обнаруживать данные с допустимым коэффициентом ошибок. Для любых видов ухудшений существует кривая степени ухудшения в зависимости от вероятности возникновения в единицу времени (см. Дополнение I).

Уровни относительной частоты возникновения, указанные в таблице 1, таковы:

- низкий – при вероятности воздействия, достаточно серьезного для того, чтобы вызвать ухудшение величиной X дБ, приблизительно равной одному событию в 10 лет;
- средний – при вероятности воздействия, достаточно серьезного для того, чтобы вызвать ухудшение величиной X дБ, приблизительно равной одному событию в год;
- высокий – при вероятности воздействия, достаточно серьезного для того, чтобы вызвать ухудшение величиной X дБ, приблизительно равной 10 событиям в год.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Приведенные выше цифры относятся к периоду стабильного функционирования систем. То или иное событие может вызвать ухудшение величиной X дБ в одном оптическом канале или в многоканальной системе. Ориентировочные значения для ухудшения величиной X дБ приведены в Дополнении II.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Относительная частота возникновения ухудшений на оптическом уровне, приведенных в таблице 1, относится к оптическим каналам со скоростью, достигающей приблизительно 10 Гбит/с. В настоящее время отсутствует достаточный объем экспериментальных данных, позволяющих создать аналогичную таблицу для оптических каналов со скоростью до 40 Гбит/с. Однако можно ожидать, что влияние вероятных искажений, возникающих вследствие хроматической дисперсии и PMD на этой битовой скорости, будет отличаться от воздействия на оптические каналы со скоростью 10 Гбит/с. Это возможное воздействие является также функцией принятого формата модуляции.

8 Параметры оптического контроля

Ниже приводится перечень оптических параметров, которые могут быть измерены при помощи существующих технологий в оптических системах передачи данных:

- мощность канала;
- суммарная мощность;
- отношение "оптический сигнал/шум" (OSNR) при отсутствии значительного ограничения шума;
- длина волны канала;
- Q-фактор.

В Дополнении III содержится информация об эксплуатационных характеристиках, которые могут быть получены при помощи доступных в настоящее время технологий контроля.

9 Корреляция между влиянием ухудшений на оптическом уровне и ухудшением параметров оптического контроля

Таблица 2 – Корреляция между выделенными видами ухудшений и параметрами контроля

Параметры	Суммарная мощность	Мощность канала	Длина волны канала	OSNR	Q-фактор
Изменение затухания	X	X		X	X
Отклонение частоты (или длины волны) от номинального значения		X	X	X	X
Изменения мощности оптического канала, связанные с отклонениями усиления		X		X	X

9.1 Изменение затухания

Подлежит дальнейшему изучению.

9.2 Отклонение частоты (или длины волны) от номинального значения

Существует прямая корреляция между ухудшением из-за "отклонения частоты от номинальной" и параметром оптического контроля "длина волны канала". Необходимая точность измерения длины волны канала зависит от "максимального отклонения центральной частоты" канала. В [ITU-T G.692] приведено значение этого параметра, равное $n/5$ (где n – разнос каналов), для приложений с разносом каналов, равным 200 ГГц и выше, однако для разноса каналов ниже этой величины значение не задано.

9.3 Изменения мощности оптического канала, связанные с отклонениями коэффициента усиления

Существует прямая связь между "изменениями мощности оптического канала, связанными с отклонениями коэффициента усиления" и параметром оптического контроля "мощность канала". При медленных изменениях коэффициента усиления канала оптический контроль мощности канала предоставляет соответствующую информацию для установления места, в котором возникают отклонения коэффициента усиления. Однако системы DWDM могут содержать несколько встроенных схем управления, таких как настройка длины волны лазера и управление выходной мощностью, управление мощностью частотной коррекции канала, управление коэффициентом усиления, управление переходным процессом, а также управление мощностью приемника канала и дисперсией в канале для поддержки эксплуатационных характеристик при сквозной передаче. Эти схемы управления могут функционировать во временных рамках, составляющих миллисекунды или даже микросекунды, и могут откликаться на события в фотонной сфере длительностью меньше секунды и даже создавать события которые могут влиять на качество сквозной передачи данных. Поскольку контроль мощности канала с разбиением по времени на достаточно малые отрезки для фиксирования данных событий не является практически целесообразным решением, более подходящим вариантом может стать получение максимального и минимального значений входных и выходных параметров функции управления в рамках более крупномасштабного разбиения по времени.

10 Приложения

В системах DWDM оптический контроль может оказаться полезным в следующих операциях:

- i) управление конфигурацией при активации систем и каналов, добавление новых каналов и т. д.;
- ii) управление обработкой отказов, которое заключается в обнаружении и локализации неисправностей;
- iii) обработка случаев ухудшения эксплуатационных характеристик для поддержания работоспособности системы и выявления таких ухудшений до возникновения неисправностей.

В целях выполнения указанных выше задач один или несколько следующих вариантов контроля могут применяться для внутреннего контроля в системах DWDM, при этом результаты будут доступны как локально, так и дистанционно. Выбор подходящего варианта зависит от конкретных характеристик системы DWDM (например, от длины трассы, количества пролетов, количества каналов, недоступности объектов), а также от анализа эффективности затрат:

- a) суммарной входной мощности на различных этапах усиления оптического сигнала;
- b) суммарной выходной мощности на различных этапах усиления оптического сигнала;
- c) мощности канала на выходе передатчика DWDM перед мультиплексором;
- d) мощности канала на входе приемника DWDM после демультиплексора;
- e) мощности канала на выходе различных этапов усиления оптического сигнала;
- f) коэффициента OSNR канала на выходе различных этапов усиления оптического сигнала;
- g) отклонения длины волны канала по крайней мере в одной точке на протяжении оптического тракта.

Отвод на выходе различных этапов оптического усиления дает возможность более подробного анализа состояния оптического канала, который может быть выполнен при помощи внешнего измерительного оборудования. Возможность применения такого отвода зависит от конкретных характеристик системы DWDM, а также от анализа эффективности затрат.

11 Вопросы безопасности оптической связи

Вопросы безопасности оптической связи рассмотрены в [ITU-T G.664].

Дополнение I

Серьезность случаев ухудшений на оптическом уровне

(Данное дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Варианты ухудшений на оптическом уровне, перечисленные в таблице 1, могут привести к серьезному снижению качества оптического сигнала вплоть до того, что приемник может оказаться неспособен обнаруживать данные с допустимым коэффициентом ошибок. Для любых вариантов ухудшений можно построить кривую ухудшения в зависимости от частоты появления (вероятность появления в единицу времени). В качестве примера кривой в случае затухания можно привести кривую, показанную ниже.



Рисунок I.1 – Пример кривой ухудшений в зависимости от частоты их появления вследствие изменения затухания

Безусловно, форма кривой и уровни вероятности будут различными для каждого из вариантов ухудшений, приведенных в списке. На кривой для уровней затухания небольшие ухудшения порядка 0,1 дБ весьма вероятны, а более серьезные ухудшения (например, 6 дБ или более) — намного менее вероятны. Для других видов ухудшений форма кривой будет различаться. К примеру, "вынужденное рассеяние Бриллюэна" (SBS) может выглядеть как кривая, показанная ниже.

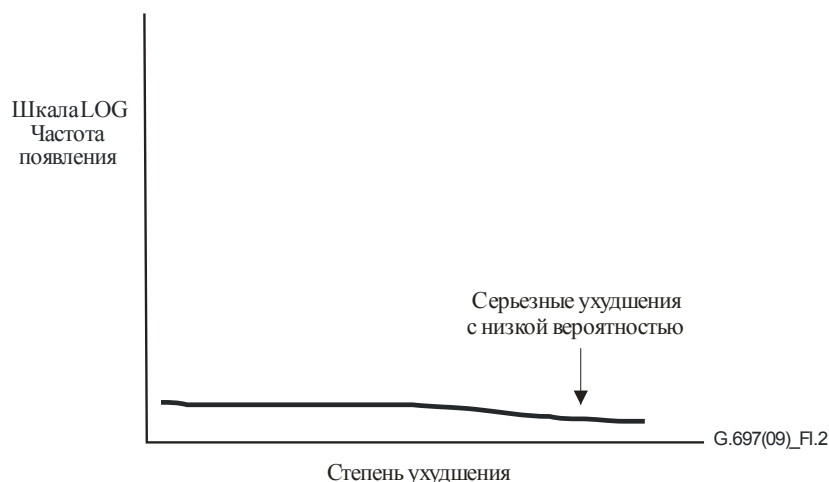


Рисунок I.2 – Пример кривой ухудшений в зависимости от частоты их появления вследствие изменения SBS

В этом случае частота появления ухудшений очень низкая (отказ цели добавочного псевдослучайного сигнала или намного более высокая мощность в волоконно-оптическом кабеле, чем ожидалось), но полученная в результате степень ухудшения может быть весьма серьезной.

Поскольку этот факт имеет место, то метод, который рассматривается в настоящей Рекомендации, заключается в определении приблизительной степени ухудшения, которое представляет собой значительное ухудшение характеристик (например, 3 дБ), с последующим указанием частоты, появления этого эффекта в типовой оптической сети.

Дополнение II

Значение X для оценки серьезности ухудшения

(Данное дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Один из операторов, ссылаясь на сеть DWDM протяженностью 10 000 км, предлагает задать значение X, равное ухудшению в 3 дБ, в качестве величины, представляющей значительное ухудшение характеристик.

Дополнение III

Эксплуатационные характеристики оптического контроля

(Данное дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В настоящем дополнении содержится информация об эксплуатационных характеристиках, которые могут быть получены при помощи доступных в настоящее время технологий контроля. Данная информация не должна трактоваться в качестве требования или спецификации, на самом деле она предназначена для определения тех случаев, когда то или иное конкретно желаемое требование к эксплуатационным характеристикам оптического контроля может (или не может) быть удовлетворено при помощи технологий, существующих на данный момент. Требования к эксплуатационным характеристикам оптического контроля могут быть сформулированы только по отношению к определенной функции и к определенной структуре системы, и в большинстве случаев практические и экономически эффективные спецификации для любого отдельного варианта контроля могут весьма существенно отличаться от приведенных ниже данных.

В таблице III.1 приведена информация по стандартным эксплуатационным характеристикам измерений, которые могут быть получены при помощи недорогого измерительного оборудования, встроенного в элементы ONE на входе приемника DWDM. В таблице III.2 приведена информация по стандартным эксплуатационным характеристикам измерений, которые могут быть получены при помощи недорогого измерительного оборудования, встроенного в элементы ONE в многоканальных точках, при отсутствии требований к измерениям коэффициента OSNR. В таблице III.3 приведена та же информация для недорогого измерительного оборудования, встроенного в элементы ONE, способного измерять коэффициент OSNR. В таблице III.4 приведены эксплуатационные характеристики измерений для измерительного оборудования высокого класса с затратами, подходящими для измерений в ограниченном количестве мест сети, выполняемых обслуживающим персоналом.

Таблица III.1 – Эксплуатационные характеристики оптического контроля с применением встроенного оборудования на входе приемника DWDM

Параметр	Точность	Повторяемость	Диапазон измерений
Мощность канала	± 2 дБ (Примечание 1)	$\pm 0,5$ дБ	Рабочий диапазон приемника (Примечание 2)
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Так как данная функция должна выполняться в каждом приемнике DWDM, она должна быть предельно простой по экономическим соображениям, и поэтому данная величина уменьшена по сравнению со значением, приведенным в таблице III.2. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Диапазон входной мощности, в котором ожидается нормальное функционирование приемника.			

Таблица III.2 – Эксплуатационные характеристики оптического контроля с применением встроенного оборудования без OSNR

Параметр	Точность	Повторяемость	Диапазон измерений
Суммарная мощность	± 1 дБ (Примечание 1)	$\pm 0,5$ дБ	(от -60 до $+5$) + потери отвода, дБм (Примечание 2)
Мощность канала	± 1 дБ (Примечание 1)	$\pm 0,5$ дБ	(от -60 до -10) + потери отвода, дБм (Примечание 2)
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Данное значение учитывает вклад от погрешностей измерения, а также от колебаний уровня потерь на отвод. В некоторых системах колебания уровня потерь на отвод могут привести к понижению точности, хотя это может быть компенсировано при помощи калибровки (что влечет за собой дополнительные расходы). ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Поскольку различные системы используют контрольные отводы с разделением на различные доли (например, 5% или 2%), диапазон измерений отображен на выходе отвода. Для расчета диапазона измерений к полученным значениям нужно прибавить потери на отвод. Например, отвод 2% увеличивает значения на 17 дБ.			

Таблица III.3 – Эксплуатационные характеристики оптического контроля с применением встроенного оборудования с OSNR

Параметр	Точность	Повторяемость	Диапазон измерений
Суммарная мощность	± 1 дБ (Примечание 1)		
Мощность канала	± 1 дБ (Примечание 1)	$\pm 0,5$ дБ	(от -40 до -10) + потери отвода, дБм (Примечание 2)
Длина волны канала	± 75 пм		
Коэффициент OSNR при отсутствии значительного ограничения шума (в полосе оптического излучения шириной 0,1 нм)	$\pm 1,5$ дБ	$\pm 0,5$ дБ	Для мощности канала ≥ 25 дБм OSNR от 10 до 30 дБ для разноса каналов ≥ 100 ГГц OSNR от 10 до 25 дБ для разноса каналов 50 ГГц (Примечание 3)
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Данное значение учитывает вклад от погрешностей измерения, а также от колебаний уровня потерь на отвод. В некоторых системах колебания уровня потерь на отвод могут привести к понижению точности, хотя это может быть компенсировано при помощи калибровки (что влечет за собой дополнительные расходы). ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Поскольку различные системы используют контрольные отводы с разделением на различные доли (например, 5% или 2%), диапазон измерений отображен на выходе отвода. Для расчета диапазона измерений к полученным значениям нужно прибавить потери на отвод. Например, отвод 2% увеличивает значения на 17 дБ. ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Данный диапазон измерений может быть недоступен в тех случаях, когда существует значительное расширение спектра вследствие нелинейных эффектов в линии связи.			

Таблица III.4 – Эксплуатационные характеристики оптического контроля с применением встроенного оборудования высокого класса

Параметр	Точность	Повторяемость	Диапазон измерений
Суммарная мощность	$\pm 0,2$ дБ (Примечание 1)		
Мощность канала	$\pm 0,4$ дБ (Примечание 1)	$\pm 0,2$ дБ	(от -80 до $+23$) + потери отвода, дБм (Примечание 2)
Длина волны канала	$\pm 0,5$ пм		
Коэффициент OSNR при отсутствии значительного ограничения шума (в оптической полосе частот 0,1 нм)	$\pm 0,4$ дБ OSNR < 20 $\pm 0,7$ дБ OSNR < 30		от 0 до 42 дБ для разноса каналов 100 ГГц от 0 до 28 дБ для разноса каналов 50 ГГц (Примечание 3)
Q-фактор	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	от 4 до 14
Прочие			
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Данное значение не учитывает вклад от колебаний уровня потерь на отвод, которые должны быть компенсированы при помощи калибровки. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Поскольку различные системы используют контрольные отводы с разделением на различные доли (например, 5% или 2%), диапазон измерений отображен на выходе отвода. Для расчета диапазона измерений к полученным значениям нужно прибавить потери на отвод. Например, отвод 2% увеличивает значения на 17 дБ. ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Данный диапазон измерений может быть недоступен в тех случаях, когда существует значительное расширение спектра вследствие нелинейных эффектов.			

III.1 Измерение OSNR

При проведении измерений OSNR в настоящее время применяется принцип измерения шума между каналами в целях оценки шума на длине волны канала. См. приведенный ниже рисунок III.1.

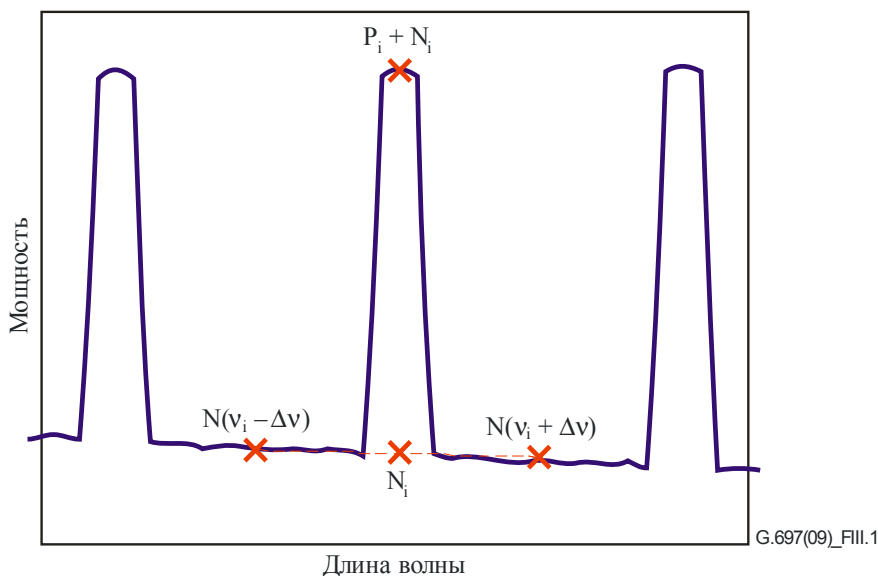


Рисунок III.1 – Метод измерения OSNR

Этот метод подходит для простых систем типа "точка-точка", в состав которых входят только волоконно-оптический кабель и усилители в оптическом тракте. Однако в более сложных системах DWDM введение любого элемента, который вызывает формирование шума между каналами, делает этот метод неточным.

В части системы DWDM, отображенной на рисунке III.2, к примеру, имеется простой мультиплексор OADM, который конфигурируется для ввода/вывода одиночного канала.

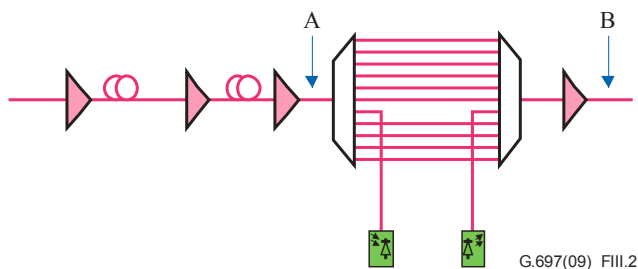


Рисунок III.2 – Часть системы DWDM с мультиплексором OADM

Оптические спектры, которые можно обнаружить в точках А и В, показаны на рисунках III.3 и III.4 соответственно.

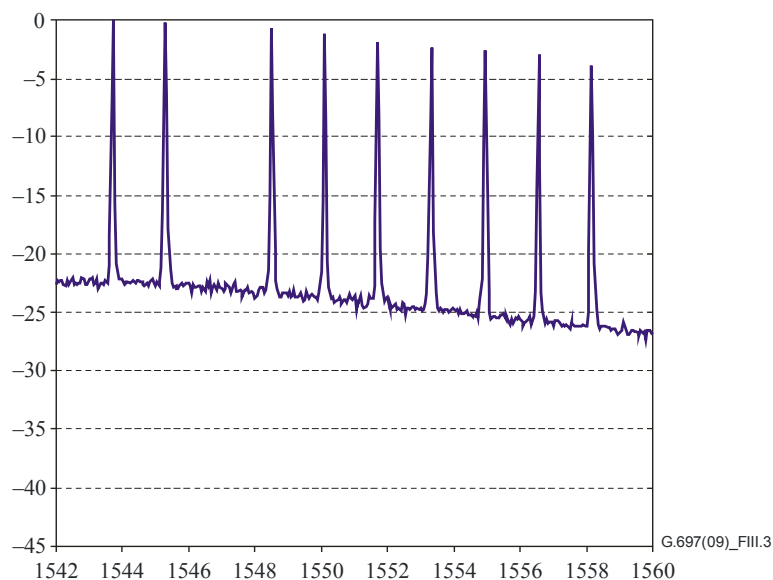


Рисунок III.3 – Оптический спектр в точке А

Как видно из рисунка III.3, в точке А метод измерения OSNR, показанный на рисунке III.1, дает точные результаты, поскольку изменение шума в зависимости от длины волны происходит довольно медленно.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В данной гипотетической 10-канальной системе канал 3 отсутствует.

На рисунке III.4 показан спектр после мультиплексора OADM и входного усилителя. В данном случае ситуация радикально отличается. Форма шума между каналами в основном определяется комбинированной функцией фильтрации демультиплексора/мультиплексора. Как видно по пику шума на длине волны пропущенного канала в данном примере, на длинах волн канала наблюдается уровень шума, который примерно на 15 дБ превышает уровень шума, в средних точках между каналами, и, следовательно, оценка OSNR в этой точке является завышенной (т. е. оптимистической) на величину около 15 дБ. Однако для добавленной длины волны ситуация обратная, и уровень шума в средних точках намного выше, чем уровень шума, добавленный на длине волны канала. Таким образом, оценка OSNR для данного канала является в значительной степени заниженной (т. е. пессимистической).

Документ [b-IEC 61280-2-9] может служить справочным материалом для получения дополнительной информации по измерениям OSNR.

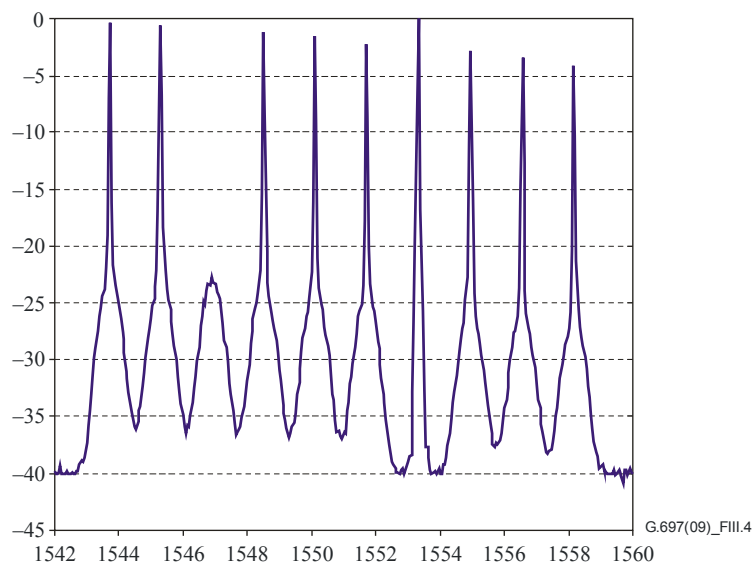


Рисунок III.4 – Оптический спектр в точке В

Для практического измерения OSNR при наличии ограничения шума необходимо измерить уровень отфильтрованного шума в полосе пропускания оптических фильтров системы (это измерение OSNR часто называют "внутриполосное"). В нижеследующих разделах описываются три метода выполнения данной задачи.

III.1.1 Метод узкополосного оптического анализатора спектра

В том случае если спектр сигнала не занимает всю полосу частот, а форма сигнала оптического фильтра имеет плоский участок, коэффициент OSNR может быть измерен при помощи узкополосного оптического анализатора спектра. Пример такого спектра приведен на рисунке III.5 для сигнала 10 Гбит/с в системе с разнесением каналов, равным 100 ГГц. В данном случае коэффициент OSNR может быть вычислен путем измерения мощности сигнала и шума в пределах плоского участка вне сигнала. Следует обратить внимание на то, что сигнал должен измеряться с достаточно большим разрешением по полосе пропускания, чтобы захватить всю мощность сигнала, в то время как шум должен измеряться с достаточно малым разрешением по полосе пропускания, чтобы исключить сигнал. Для этого может потребоваться другое разрешение по полосе пропускания для каждой части измерения и для мощности шума, которое должно масштабироваться от ширины полосы измерения до обычного эталонного значения, равного 0,1 нм.

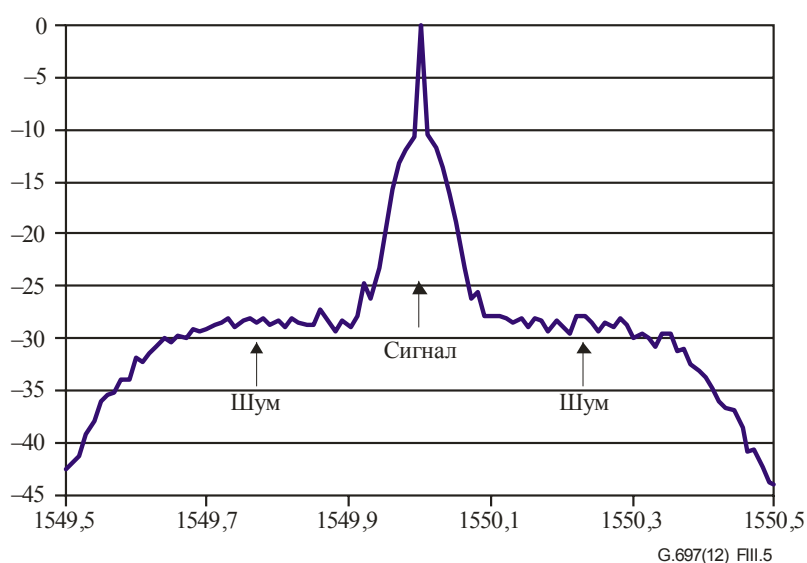


Рисунок III.5 – Оптический спектр, в котором сигнал не занимает всю полосу пропускания канала

Однако поскольку при этом скорость передачи данных в бодах сравнима с разнесом каналов, спектр сигнала полностью перекрывается нижним уровнем шума, как показано на рисунке III.6. В данном случае необходим другой принцип измерения. Кроме того, в том случае, если сигнал проходит через несколько оптических фильтров, комбинированная функция фильтрации постепенно приобретает менее плоскую вершину, тем самым затрудняя точное определение уровня шума.

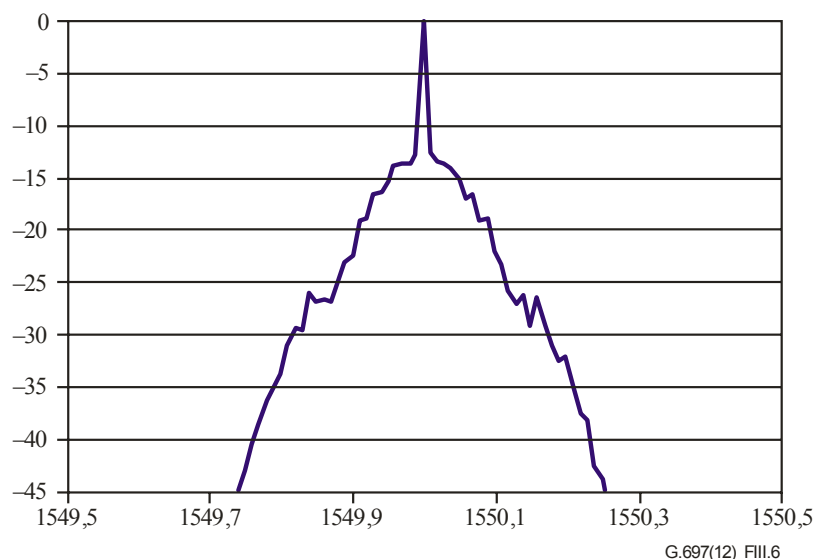


Рисунок III.6 – Оптический спектр, в котором сигнал занимает всю полосу пропускания канала

III.1.2 Измерение экстинкции во временной области

В этом методе прохождение сигнала в измеряемый канал открывается и закрывается в точке входа в оптическую систему при помощи оптоакустического коммутатора. Затем сигнал дискретизируется в измеряемой точке при помощи второго коммутатора либо в фазе для измерения сигнала, либо в противофазе для измерения уровня шума. Данный метод требует наличия быстродействующих оптоакустических коммутаторов с высокой экстинкцией или управляемого импульсами оптического анализатора спектра (OSA). В измеряемом канале поддерживается тот же средний уровень сигнала, что и применяемый при обычной эксплуатации для сохранения рабочей точки усилителей.

Очевидные недостатки данного метода измерений заключаются в том, что он требует, чтобы оборудование было установлено в нескольких точках системы, а также в невозможности его использования для измерения OSNR в работающем канале.

III.1.3 Измерение экстинкции поляризации

Альтернативный метод отделения сигнала от шума заключается в использовании того факта, что в первом приближении оптический сигнал передачи поляризован, тогда как шум ASE не поляризован. В своем простейшем виде сочетание регулируемого контроллера поляризации и поляризационного разветвителя/фильтра используется для отделения поляризованного сигнала от неполяризованного шума, как показано на рисунке III.7.

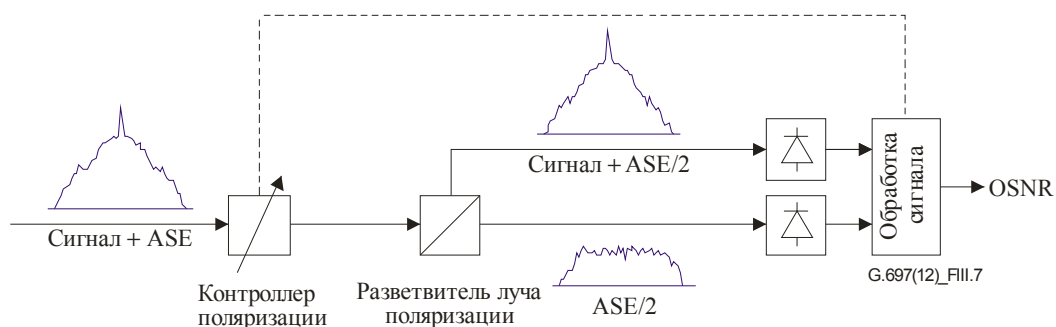


Рисунок III.7 – Блок-схема метода экстинкции поляризации

Регулируя контроллер поляризации перед разветвителем луча поляризации, можно добиться подавления поляризованного сигнала и получения доступа к неполяризованному внутрисполосному шуму в одной ветке, а в другой ветке показан сигнал плюс шум [b-Rasztovits-Wiech].

Применение данного метода сопряжено с четырьмя проблемами.

- Если состояние поляризации сигнала в точке измерения быстро изменяется (эта проблема характерна, по всей видимости, для воздушных волоконно-оптических кабелей) или сигнал становится деполаризованным, то очень сложно получить достаточную экстинкцию сигнала.
- При наличии перекрестных помех между каналами эти помехи могут включаться или не включаться в измерение шума в зависимости от взаимной поляризации сигнала и перекрестных помех.
- Потери, зависящие от поляризации (PDL), могут привести к значительным ошибкам измерения вследствие того, что шум имеет ту же поляризацию, что и сигнал, амплитуда которого отличается от амплитуды шума с ортогональной поляризацией.
- В случае с поляризованным мультиплексированным сигналом на каждой из двух ортогональных поляризаций существует отдельный сигнал, поэтому сигнал не может быть погашен при помощи разветвителя поляризованного луча. Следовательно, данный метод измерения OSNR не может применяться для подобных сигналов.

III.2 Измерение Q-фактора

Измерение Q-фактора занимает промежуточное положение между классическими оптическими параметрами (мощность, отношение "оптический сигнал/шум" (OSNR) и длина волны) и цифровыми параметрами сквозных эксплуатационных характеристик на основе коэффициента BER.

Q-фактор измеряется во временной области путем анализа статистических данных импульсной формы оптического сигнала. Подробная информация приведена в [ITU-T O.201]. Q-фактор представляет собой всеобъемлющую меру качества сигнала в оптическом канале, учитывающую влияние шума, фильтрации, а также линейных и нелинейных искажений формы импульса, которую невозможно получить лишь на основе элементарных оптических параметров.

В идеальных условиях (при наличии только аддитивного гауссова шума и отсутствии линейных или нелинейных искажений и т. д.) коэффициент BER двоичного оптического канала должен быть таким же, как и при измерении Q-фактора. Однако подобные идеальные условия в реальных системах встречаются редко, и корреляция между Q-фактором оптического сигнала и коэффициентом BER, измеряемым после регенерации, зависит от различных характеристик приемника (ширины полосы шума, импульсной характеристики и т. д.) в регенераторе по сравнению с характеристиками системы измерения Q-фактора.

Дополнительным фактором, оказывающим существенное влияние на достоверность измерения Q-фактора в любой точке оптического тракта, является остаточная дисперсия, присутствующая в данной точке. На рисунке III.8 приведена блок-схема простой пятипролетной системы передачи, включающей модули компенсации дисперсии (DCM) в линейных усилителях. В подобной системе, в то время как конечные точки E и F, как правило, имеют номинально нулевую остаточную дисперсию, измерения Q-фактора в промежуточных точках оптического тракта возможны только при наличии надлежащей компенсации дисперсии в данных точках.

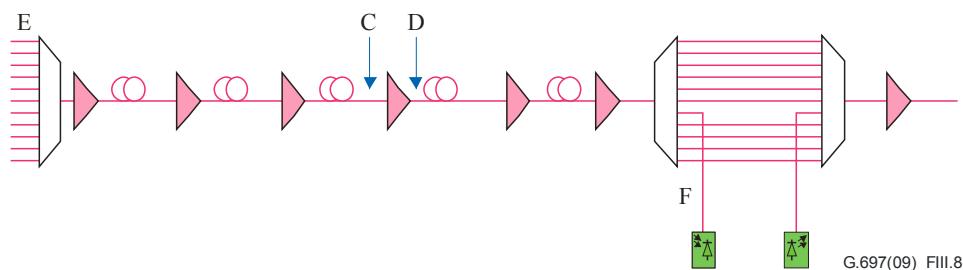


Рисунок III.8 – Пятипролетная система передачи, включающая модули DCM в линейных усилителях

На рисунке III.9 показана остаточная дисперсия в зависимости от расстояния для систем, в которых дисперсия на пролете с номинальной длиной 80 км компенсируется модулем DCM, рассчитанным на 80 км и встроенным в каждый линейный усилитель, а также дополнительным модулем DCM в составе приемника-предусилителя. В данном случае, к примеру, Q-фактор, измеренный в точке С (вход усилителя третьей линии), существенно отличается от Q-фактора в точке D (выход того же усилителя) вследствие значительной разницы в остаточной дисперсии двух точек.

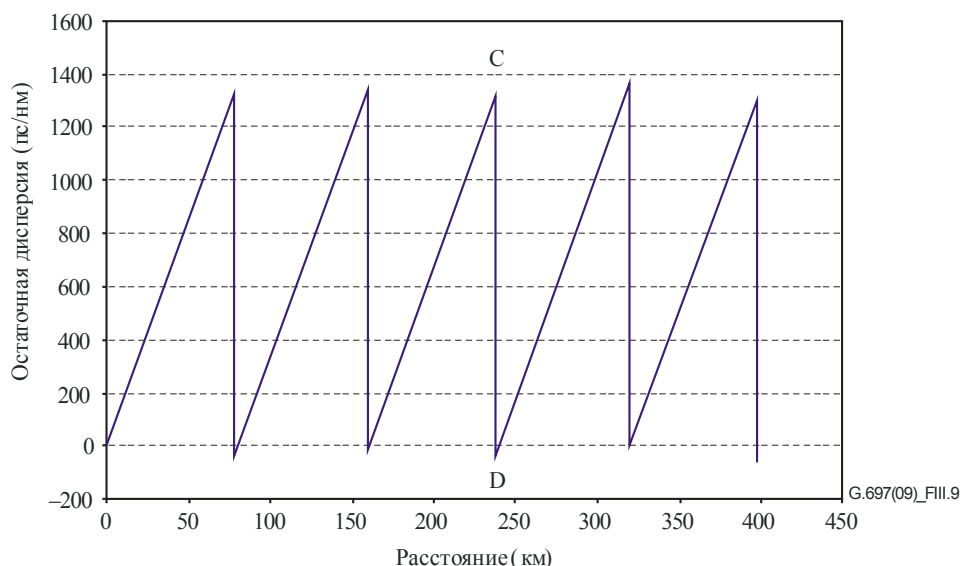


Рисунок III.9 – Остаточная дисперсия в зависимости от расстояния для простой системы

Решением для карты дисперсии, показанной на рисунке III.9, может являться только измерение Q-фактора на выходах усилителя (например, в точке D).

Карта остаточной дисперсии, приведенная на рисунке III.9, предназначена для длины волны, при которой дисперсия в волоконно-оптическом кабеле с приемлемой точностью компенсируется модулем DCM. Однако в системах в дальней связи, использующих широкий диапазон длин волн, тот факт, что наклон дисперсионной характеристики волоконно-оптического кабеля при изменении длины волны, как правило, неточно соответствует обратному наклону дисперсионной характеристики DCM при изменении длины волны, означает, что карта остаточной дисперсии будет разной во всем диапазоне длин волн канала. Это отображается на рисунке III.10, на котором показаны также карты остаточной дисперсии каналов с предельной длиной волны.

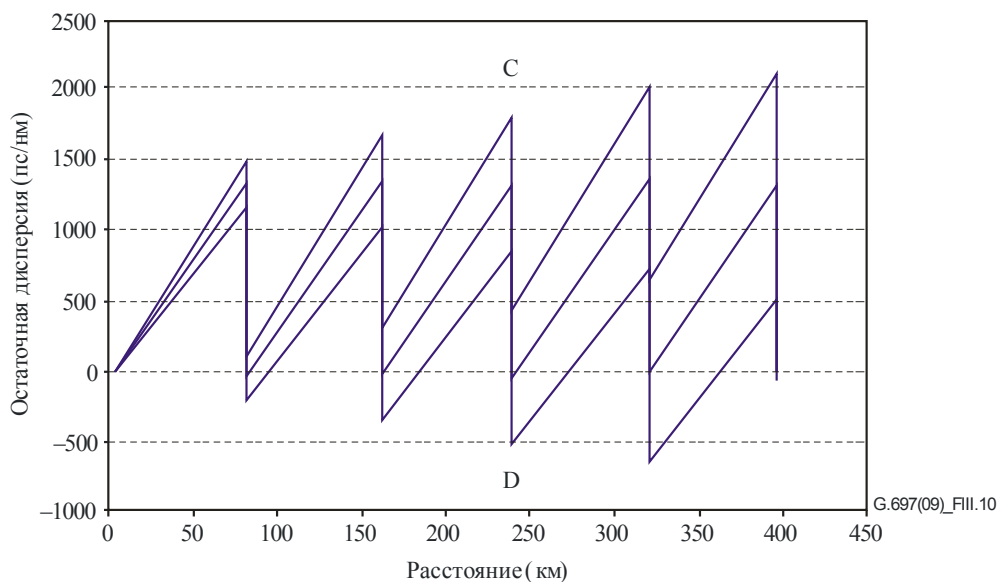


Рисунок III.10 – Остаточная дисперсия в зависимости от расстояния для простой системы с широким диапазоном длин волн

Для более сложных карт дисперсии, как показано на рисунке III.11, в тех случаях, когда модули DCM встроены в передатчик и приемник, а также в линейные усилители, точки с нулевой дисперсией теперь не обязательно должны совпадать с выходом линейных усилителей. В этом случае для обеспечения достоверности измерений Q-фактора в этих контрольных точках потребуются дополнительные устройства компенсации в измерительном оборудовании.

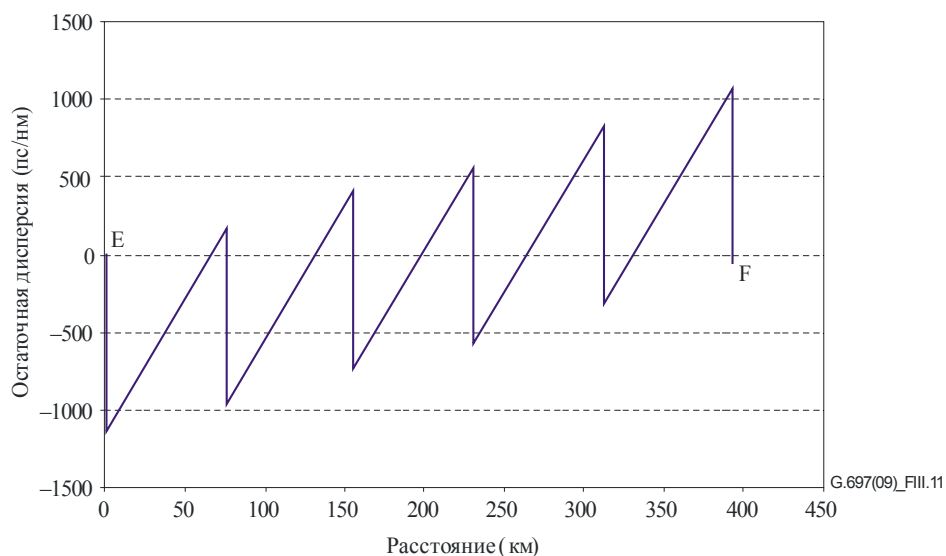


Рисунок III.11 – Остаточная дисперсия в зависимости от расстояния для более сложной системы

Дополнение IV

Возможные варианты размещения соответствующего оборудования контроля и их сравнительные характеристики для некоторых элементов оптических сетей

(Данное дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

IV.1 Введение

В то время как оптический контроль внедряется (и уже используется) во многие существующие системы оптической передачи, между развертываемыми установками оптического контроля имеют место значительные различия. Это связано с наличием различных схем проектирования систем передачи и управления, размером сети, а также различиями в стратегиях обработки неисправностей в различных системах. По этой причине невозможно сформулировать общее требование о том, какое значение параметра и с какой конкретной точностью является достоверным показателем рабочего состояния подобной системы.

Выбор варианта для реализации зависит от конкретных характеристик элемента ONE. В особенности это касается характеристик системы DWDM (например, длины, количества пролетов, количества каналов, недоступности объектов), а также анализа эффективности затрат. В частности следует учитывать, что по мере увеличения количества контрольных точек возрастает расход мощности сигнала с последующим сокращением зоны охвата системы DWDM.

В заключение можно отметить, что возможные варианты размещения оборудования для соответствующих точек контроля и их сравнительные характеристики в нескольких элементах оптических сетей, приведенных в настоящем Дополнении, должны рассматриваться в качестве примеров, а не требований. Эти примеры представляют интерес, так как с их помощью можно показать возможности с технологической точки зрения, а также вероятные потребности операторов сетей.

Общая модель возможных точек контроля в элементах оптической сети приведена на рисунке IV.1.

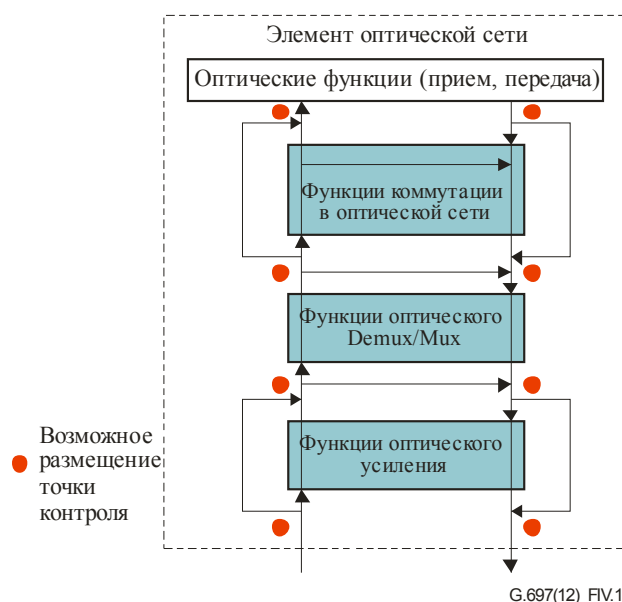


Рисунок IV.1 – Пример размещения встроенного измерительного оборудования (ЕМЕ) внутри элемента оптической сети

IV.2 Встроенные точки контроля

IV.2.1 Сегмент линии связи DWDM

Пример размещения встроенного измерительного оборудования (ЕМЕ) в сегменте междугородной линии связи DWDM для оптических каналов, работающих со скоростью 10 Гбит/с, приведен на рисунке IV.2.

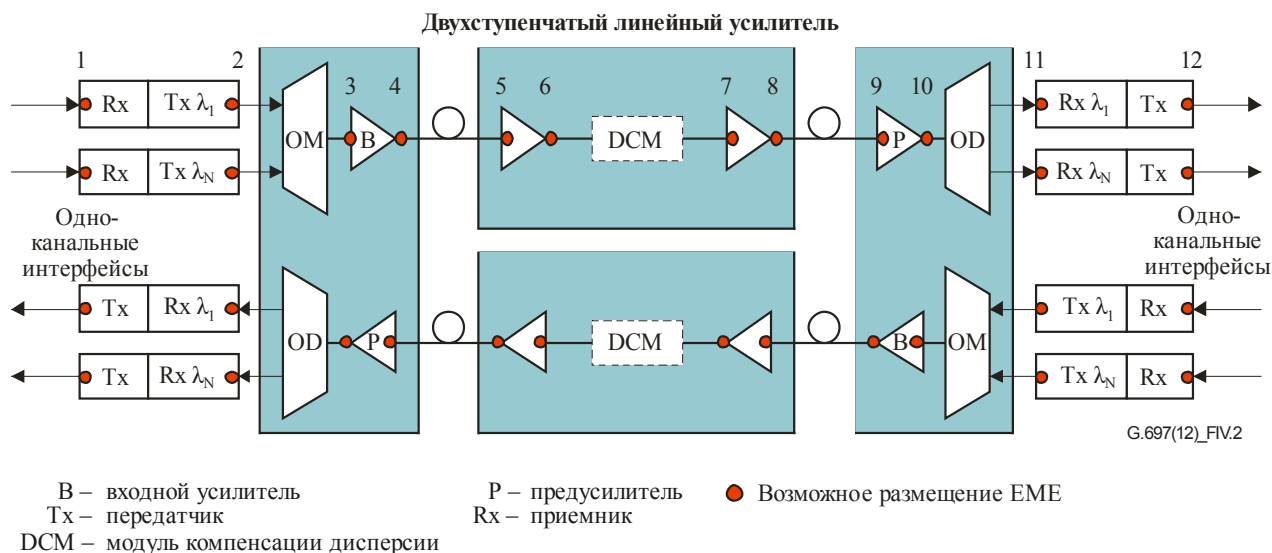


Рисунок IV.2 – Пример размещения ЕМЕ внутри сегмента междугородной линии связи DWDM

Оптические параметры, перечисленные в разделе 10, могут измеряться в различных точках контроля, обозначенных на рисунке IV.2 в соответствии с таблицей IV.1.

Таблица IV.1 – Возможные точки контроля в сегменте линии связи DWDM

Параметры контроля	Размещение ЕМЕ
a) Суммарная входная мощность на различных этапах усиления оптического сигнала	3, 5, 7, 9
b) Суммарная выходная мощность на различных этапах усиления оптического сигнала	4, 6, 8, 10
c) Мощность канала на входе	1, 11
d) Мощность канала на выходе	2, 12
e) Выходная мощность канала на различных этапах усиления оптического сигнала	4, 6, 8, 10
f) Коэффициент OSNR-канала на выходе различных этапов усиления оптического сигнала	4, 6, 8, 10
g) Длина волны канала	2
ПРИМЕЧАНИЕ. – В настоящей таблице перечислены возможные варианты размещения оборудования контроля. Выбор подходящей точки контроля зависит от конкретной системы (см. раздел IV.1).	

IV.2.2 Мультиплексоры ROADM

Пример размещения встроенного оборудования контроля в реконфигурируемом оптическом мультиплексоре с функцией ввода-вывода (ROADM) приведен на рисунке IV.3.

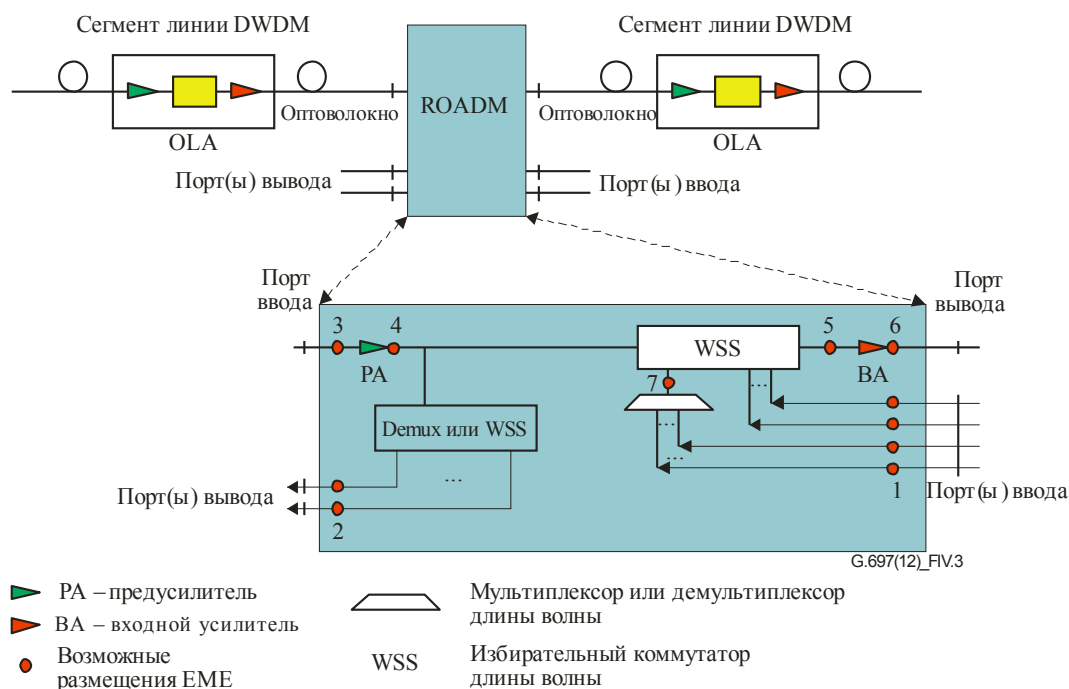


Рисунок IV.3 – Пример размещения ЕМЕ внутри мультиплексора ROADM

Оптические параметры, перечисленные в разделе 10, могут измеряться в различных устройствах ЕМЕ, обозначенных на рисунке IV.3 в соответствии с таблицей IV.2.

Таблица IV.2 – Возможные точки контроля в одном из примеров ROADM

Параметры контроля	Размещение ЕМЕ
a) Суммарная входная мощность на различных этапах усиления оптического сигнала	3, 5
b) Суммарная выходная мощность на различных этапах усиления оптического сигнала	4, 6
c) Мощность канала на входе	1
d) Мощность канала на выходе	2
e) Мощность канала на выходе различных этапов усиления оптического сигнала	4, 6
f) Коэффициент OSNR-канала на выходе различных этапов усиления оптического сигнала	4, 6
g) Длина волны канала	1
h) Суммарная мощность	7
ПРИМЕЧАНИЕ. – В настоящей таблице перечислены возможные варианты размещения оборудования контроля. Выбор подходящей точки контроля зависит от конкретной системы (см. раздел IV.1).	

Размещение и функции устройств ЕМЕ внутри WSS подлежат дальнейшему изучению.

IV.3 Внешние точки контроля

IV.3.1 Сегмент линии связи DWDM

Пример размещения внешних точек контроля (EMP) в сегменте междугородной линии связи DWDM для оптических каналов, работающих со скоростью 10 Гбит/с, приведен на рисунке IV.4.

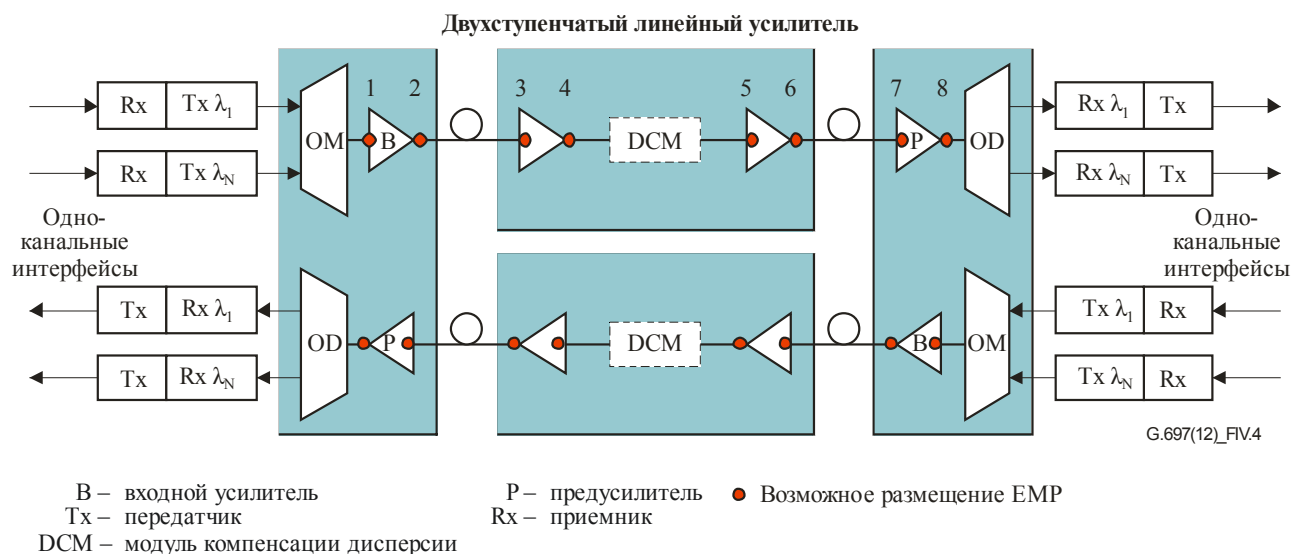


Рисунок IV.4 – Пример размещения EMP внутри сегмента междугородной линии связи DWDM

Все оптические параметры, перечисленные в разделе 8, могут измеряться в различных точках контроля, обозначенных на рисунке IV.4, при помощи соответствующего внешнего измерительного оборудования. Выбор подходящей точки контроля из предоставленных вариантов зависит от конкретной системы (см. раздел IV.1).

IV.3.2 Мультиплексоры ROADM

Пример размещения внешних точек контроля в ROADM приведен на рисунке IV.5.

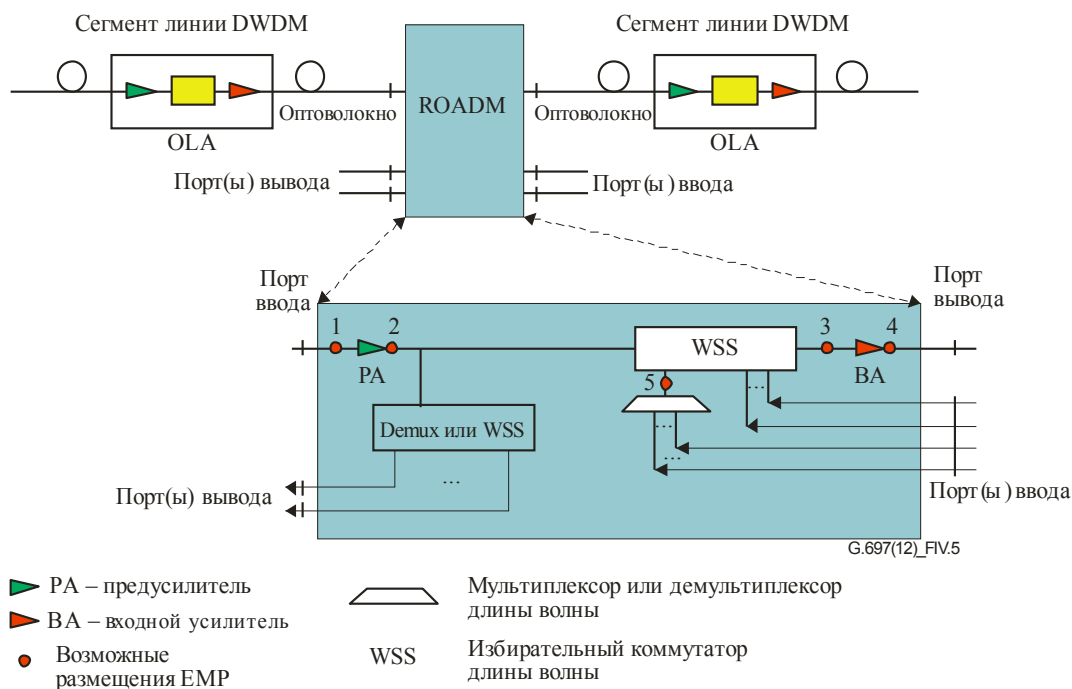


Рисунок IV.5 – Пример размещения EMP внутри одной из примерных схем ROADM

Все оптические параметры, перечисленные в разделе 10, могут измеряться в различных точках контроля, обозначенных на рисунке IV.5 при помощи соответствующего внешнего измерительного оборудования. Выбор подходящей точки контроля из предоставленных вариантов зависит от конкретной системы (см. раздел IV.1).

ДОПОЛНЕНИЕ V

Кодирование параметров

(Данное дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

В настоящем Дополнении приведена возможная схема кодирования для передачи информации, относящейся к оптическим параметрам. Использование этой информации, способы ее передачи, возможность включения информации по какому-либо определенному параметру, а также возможность получения значения какого-либо параметра в процессе измерения (измерения, предшествующего установке системы или проводимого отдельно) выходит за рамки сферы применения настоящего Дополнения.

V.1 Идентификатор длины волны (32 бита)

Это поле содержит отметку длины волны и состоит из четырех дополнительных полей.

- **Сетка** (3 бита, 0–2) – значение для сетки устанавливается на 1 для сетки DWDM ITU-T согласно описанию, приведенному в [b-ITU-T G.694.1], устанавливается на 2 для сетки CWDM ITU-T согласно описанию, приведенному в [b-ITU-T G.694.2]. Значения 0 и 3–7 резервируются для использования в будущем.
- **Разнос каналов** (4 бита, 3–6) – кодирование разнosa каналов при значении сетки, установленном на 1 (DWDM), приведено в таблице V.1, а кодирование разнosa каналов при значении сетки, установленном на 2 (CWDM), приведено в таблице V.2.

Таблица V.1 – Кодирование разнosa каналов DWDM

Разнос каналов, ГГц	Значение
100	1
50	2
25	3
12,5	4
Гибкая сетка	5
Зарезервировано для использования в будущем	0, 6–15

Для каналов с разносом более 100 ГГц существует несколько возможных вариантов сетки (см. [b-ITU-T G.694.1]), поэтому необходимо кодировать соответствующий элемент сетки с разносом 100 ГГц.

Таблица V.2 – Кодирование разнosa каналов CWDM

Разнос каналов, нм	Значение
20	1
Зарезервировано для использования в будущем	0, 2–15

- **n** (16 битов, 7–22) – значение, используемое для вычисления частоты, как показано ниже. Если значение сетки равно 1, частота (ТГц) = $193,1 \text{ ТГц} + n \times \text{разнос каналов (ТГц)}$. В случае если значение разнosa каналов равно 5, то в приведенной выше формуле должна использоваться величина разнosa каналов, равная 6,25 ГГц. Если значение сетки равно 2, длина волны (нм) = $1471 \text{ нм} + n \times \text{разнос каналов (нм)}$, то значение n кодируется как 16-разрядное число, дополненное двумя знаками.
- **m** (9 битов, 23–31) – если значение сетки равно 1, а величина разнosa каналов устанавливается на 5, то это значение используется для вычисления ширины слота следующим образом: ширина слота (ГГц) = $12,5 \text{ ГГц} \times m$ (см. [b-ITU-T G.694.1]), в противном случае устанавливается на 0. Значение **m** кодируется как 9-разрядное целое число без знака.

Например, кодирование элемента 193,85 ТГц (примерно 1546,518 нм) из сетки с разном 50 ГГц согласно [b-ITU-T G.694.1] будет представлять собой: сетка = 1, разном каналов = 2, n = 15, резерв = 0. Результатом является кодирование 000000000 0000000000001111 0010 001 или 0x00000791.

V.2 Источник ID-параметров (8 битов)

Это поле определяет источник таблицы подстановки ID-параметра. Значение "1" соответствует настоящей Рекомендации, все остальные значения резервируются для использования в будущем.

V.3 ID-параметр (8 битов)

Если источник ID-параметров равен 1, то применяется кодирование параметров, приведенное в таблице V.3. Для всех остальных значений источника ID-параметров кодирование параметров приводится в документе, упомянутом в V.2.

Таблица V.3 – Кодирование ID-параметров

Значение	Параметр	Единица измерения	Примечания
1	Суммарная мощность	дБм	
2	Мощность канала	дБм	
3	Отклонение частоты от номинального значения	ГГц	Для каналов DWDM
4	Отклонение длины волны от номинального значения	нм	Для каналов CWDM
5	OSNR	дБ (0,1 нм)	Относится к ширине полосы шума 0,1 нм
6	Q	—	Линейный Q
7	PMD	пс	Среднее DGD. Данный параметр измеряется, как правило, только в момент установки
8	Остаточная дисперсия	пс/нм	Данный параметр измеряется, как правило, только во время установки

Все остальные значения ID-параметра зарезервированы для использования в будущем.

V.4 Значение параметров (32 бита)

Значение параметров кодируется как 32-разрядное число с плавающей запятой согласно [b-IEEE 754]. 32-разрядное число делится на знак (1 бит), показатель (8 битов) и мантиссу (23 бита). Следовательно, значение параметра равно:

$$\text{Значение} = (-1)^{\text{знак}} \times 2^{(\text{показатель} - 127)} \times (\text{число между 1,0 и 2,0, полученное из мантиссы}).$$

Подробная информация приведена в [b-IEEE 754].

Библиография

- [b-ITU-T G.694.1] Рекомендация МСЭ-Т G.694.1 (2002 г.), *Спектральные сетки для применения технологий WDM: сетка длин волн технологии DWDM*.
- [b-ITU-T G.694.2] Рекомендация МСЭ-Т G.694.2 (2003 г.), *Спектральные сетки для применения технологий WDM: сетка длин волн технологии CWDM*.
- [b-ITU-T G.709] Рекомендация МСЭ-Т G.709/Y.1331 (2003 г.), *Интерфейсы оптической транспортной сети (OTN)*.
- [b-ITU-T G.826] Recommendation ITU-T G.826 (2002), *End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections*.
- [b-ITU-T G-Sup.39] Серия G Рекомендаций МСЭ-Т – Добавление 39 (2003 г.), *Рассмотрение вопросов расчета и проектирования оптических систем*.
- [b-IEC 61280-2-9] IEC 61280-2-9 (2009), *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 2-9: Digital systems – Optical signal-to-noise ratio measurement for dense wavelength-division multiplexed systems*.
- [b-IEEE 754] IEEE 754-2008, *Standard for Floating-Point Arithmetic*.
- [b-Rasztovits-Wiech] Rasztovits-Wiech, M., Danner, and M., Leeb, W. R. (1998), *Optical signal-to-noise measurement in WDM networks using polarization extinction*, Proceedings of the 34th European Conference on Optical Communication (ECOC 1998), Madrid, September 1998, pp. 549-550.

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