Международный союз электросвязи

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.987.2

(02/2016)

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

Цифровые участки и система цифровых линий – Оптические линейные системы для местных сетей и сетей доступа

Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON): спецификация уровня, зависимого от физической среды (PMD)

Рекомендация МСЭ-Т G.987.2

ITU-T

Международный союз электросвязи

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G

СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕСИСТЕМЫ 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 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
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
Общие положения	G.900–G.909
Параметры волоконно-оптических кабельных систем	G.910–G.919
Цифровые участки с иерархической скоростью передачи, основанной на скорости передачи 2048 кбит/с	G.920–G.929
Цифровые линейные системы передачи по кабелю с неиерархической скоростью передачи	G.930–G.939
Цифровые линейные системы, обеспечиваемые службами передачи данных с ЧРК	G.940–G.949
Цифровые линейные системы	G.950–G.959
Цифровые участки и цифровые системы передачи для абонентского доступа к ЦСИС	G.960–G.969
Волоконно-оптические подводные кабельные системы	G.970–G.979
Оптические линейные системы для местных сетей и сетей доступа	**G.980–G.989**
Сети доступа на металлических кабелях	G.990–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СИСТЕМ– 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.987.2

Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON): спецификация уровня, зависимого от физической среды (PMD)

Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.987.2 описаны требования к физическому уровню и представлена спецификация уровня, зависимого от физической среды (PMD), для XG-PON. Полосы расширения длины волны описаны в Рекомендации МСЭ-Т G.987.1. Уровень конвергенции передачи (TC) описан в Рекомендации МСЭ-Т G.987.3. Спецификации интерфейса управления и контроля ONU (OMCI) приведены в Рекомендации МСЭ-Т G.988.

В Рекомендации МСЭ-Т G.987.2 описана гибкая волоконно-оптическая сеть доступа, способная обеспечить потребности в ширине полосы для предоставления услуг потребителям в коммерческом и жилом секторах. Серия стандартов G.987 предусматривает несколько линейных скоростей передачи в восходящем и нисходящем направлениях. На данный момент в настоящей Рекомендации определен один тип пассивных оптических сетей с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON), характеризуемый номинальной линейной скоростью передачи 9,95328 Гбит/с в нисходящем направлении и 2,48832 Гбит/с в восходящем направлении, именуемый далее XG-PON1.

В настоящей Рекомендации описана система, представляющая собой эволюционное развитие системы, описанной в серии Рекомендаций МСЭ-Т G.984. В данной Рекомендации, насколько это максимально возможно, сохраняются требования Рекомендации МСЭ-Т G.984.1 по обеспечению максимальной преемственности с существующими системами и волоконно-оптической инфраструктурой.

Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор*
1.0	МСЭ-Т G.987.2	13.01.2010 год	15-я	11.1002/1000/10411
2.0	МСЭ-Т G.987.2	07.10.2010 год	15-я	11.1002/1000/10889
2.1	МСЭ-Т G.987.2 (2010 год) Попр. 1	13.02.2012 год	15-я	11.1002/1000/11499
3.0	ITU-T G.987.2	26.02.2016 год	15-я	11.1002/1000/12832

Ключевые слова

Пассивная оптическая сеть с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи, сеть FTTx, OLT, ONU, оптический, терминал оптической сети (ONT), пассивная оптическая сеть (PON), интерфейсы физического уровня, требования к физическому уровню, спецификация физического уровня, PMD, XG-PON1.

---

* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL: http://handle.itu.int/, а затем уникальный идентификатор Рекомендации. Например, http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en.

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 получил извещение 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 2019

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
3	Определения	2
4	Сокращения и акронимы	2
5	Условные обозначения	2
6	Архитектура оптической сети доступа	2
6.1	Классы потерь оптического тракта	3
6.2	Категории разности расстояний по оптоволокну	4
7	Услуги	4
8	Интерфейс пользователь – сеть и интерфейс узла услуг	4
9	Требования к оптической сети	4
9.1	Уровневая структура оптической сети	4
9.2	Требования к уровню, зависимому от физической среды, для XG-PON	4
10	X/S-устойчивость ONU XG-PON	19
10.1	Универсальная конфигурация WDM	20
11	Заголовок физического уровня восходящего потока	20
Дополнение I	Примеры распределения длины волны для XG-PON, G-PON и служб видеораспределения	22
Дополнение II	Измерения на физическом уровне, требуемые для поддержки контроля на оптическом уровне	23
Дополнение III	Распределение интервала заголовка физического уровня	24
Дополнение	IVСпецификация бюджета джиттера	28
IV.1	Понятие бюджета джиттера	28
IV.2	Определение контрольных точек	29
IV.3	Спецификация бюджета джиттера для XG-PON1	30
IV.4	Измерение джиттера для определения соответствия бюджету	31
Дополнение V	Измерение времени регистрации и раскрытия глазковой диаграммы в пакетном режиме на OLT	32
Библиография		35

Рекомендация МСЭ-Т G.987.2

Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON): спецификация уровня, зависимого от физической среды (PMD)

1 Сфера применения

Настоящая Рекомендация посвящена гибким сетям доступа с использованием волоконно-оптической технологии. Основным предметом рассмотрения является сеть, поддерживающая услуги, для которых требуется ширина полосы, обеспечивающая предоставление услуг в диапазоне от голосовой связи до передачи данных на скоростях до 10 Гбит/с. Рассматриваются также радиовещательные услуги.

В настоящей Рекомендации описаны характеристики уровня, зависимого от физической среды (PMD), оптической сети доступа (OAN) с возможностью транспортировки различных услуг между интерфейсом пользователь – сеть и интерфейсом узла услуг.

Оптическая сеть доступа (OAN), описываемая в настоящей Рекомендации, обеспечивает оператору сети возможность гибкой модернизации в расчете на прогнозируемые требования клиентов – в частности, применительно к оптической распределительной сети (ODN). Рассматриваемая сеть ODN базируется на варианте древовидной схемы с ветвями для связи пункта со многими пунктами.

2 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.652] Recommendation ITU-T G.652 (2009), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*.

[ITU-T G.657] Recommendation ITU-T G.657 (2012), *Characteristics of a bending loss insensitive single mode optical fibre and cable for the access network*.

[ITU-T G.783] Рекомендация МСЭ-Т G.783 (2006 год, с поправками), *Характеристики функциональных блоков оборудования для синхронной цифровой иерархии (СЦИ)*.

[ITU-T G.825] Recommendation ITU-T G.825 (2000, as amended), *The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)*.

[ITU-T G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии*.

[ITU-T G.959.1] Рекомендация МСЭ-Т G.959.1 (2016 г.), *Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети*.

[ITU-T G.982] Recommendation ITU-T G.982 (1996), *Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates*.

[ITU-T G.984.1] Recommendation ITU-T G.984.1 (2008, as amended), *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics*.

[ITU-T G.984.2] Рекомендация МСЭ-Т G.984.2 (2003 год, с поправками), *Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой гигабитных скоростей передачи (GPON): Спецификация зависимого от физической среды (PMD) уровня*.

[ITU-T G.984.5] Recommendation ITU-T G.984.5 (2014), *Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Enhancement band*.

[ITU-T G.987] Recommendation ITU-T G.987 (2012), 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms.

[ITU-T G.987.1] Recommendation ITU-T G.987.1 (2010), 10 Gigabit-capable passive optical network (XG-PON): General requirements.

[ITU-T G.987.3] Рекомендация МСЭ-Т G.987.3 (2014 год), *Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой 10-гигабитных скоростей передачи (XG-PON): спецификация уровня конвергенции передачи*.

[ITU-T G.988] Recommendation ITU-T G.988 (2012), ONU management and control interface (OMCI) specification.

[ITU-T G-Sup.39] ITU-T G-series Recommendations – Supplement 39 (2016), Optical system design and engineering considerations.

[ITU-T L.313] Recommendation ITU-T L.313/L.66 (2007), Optical fibre cable maintenance criteria *for in-service fibre testing in access networks*.

3 Определения

См. пункт 3 [ITU-T G.987].

4 Сокращения и акронимы

См. пункт 4 [ITU-T G.987].

5 Условные обозначения

См. пункт 5 [ITU-T G.987].

6 Архитектура оптической сети доступа

См. [ITU-T G.984.1]. В целях удобства рисунок 1 из [ITU-T G.984.2] воспроизведен ниже.

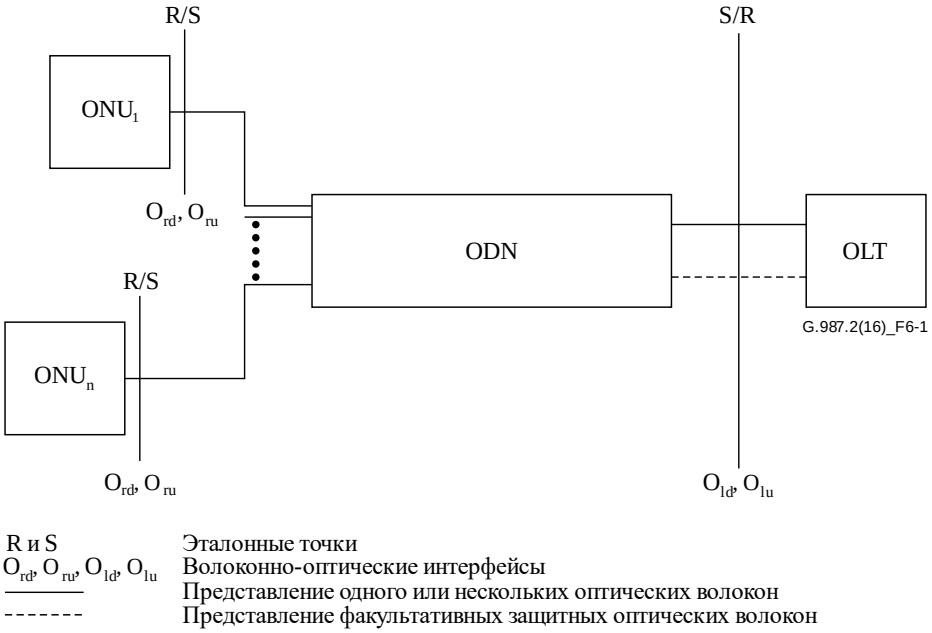


Рисунок 6-1 − Базовая физическая конфигурация волоконно-оптической распределительной сети (воспроизведена по рисунку 1 [ITU-T G.984.2])

На рисунке 6-1 определены следующие эталонные точки:

− S: точка в оптическом волокне, расположенная непосредственно за точкой подключения к оптической сети OLT[в нисходящем направлении]/ONU[в восходящем направлении], то есть оптическим соединителем или сростком.

− R: точка в оптическом волокне, расположенная непосредственно перед точкой подключения к оптической сети ONU[в нисходящем направлении]/OLT/ [в восходящем направлении], то есть оптическим соединителем или сростком.

− S/R, R/S: комбинация из точек S и R, одновременно существующая в одном оптическом волокне при работе в двунаправленном режиме.

− Oru, Ord: оптический интерфейс в эталонной точке R/S между ONU и ODN для восходящего и нисходящего направлений соответственно.

− Olu, Old: оптические интерфейсы в эталонной точке S/R между OLT и ODN для восходящего и нисходящего направлений соответственно.

Два направления для оптической передачи в ODN идентифицируются следующим образом:

– нисходящее направление для сигналов, проходящих от OLT к ONU; и

– восходящее направление для сигналов, проходящих от ONU к OLT.

Передача в нисходящем и восходящем направлениях происходит по одной и той же системе из оптического волокна и оптических компонентов (дуплексная/диплексная конфигурация).

6.1 Классы потерь оптического тракта

Рекомендуемые классы потерь оптического тракта приведены в таблице 6-1.

Таблица 6-1 − Классы потерь оптического тракта, определенные в настоящей Рекомендации

	Класс Nominal1 (класс N1)	Класс Nominal2 (класс N2)	Класс Extended1 (класс E1)	Класс Extended2 (класс E2)
Минимальные потери	14 дБ	16 дБ	18 дБ	20 дБ
Максимальные потери	29 дБ	31 дБ	33 дБ	35 дБ

В сетях с архитектурой "звезда" при отсутствии оптических разветвителей потери оптического тракта могут составлять менее 5 дБ. В этом случае ODN должна содержать дополнительные оптические аттенюаторы, которые бы обеспечивали требуемый минимальный уровень вносимых потерь в канале, чтобы предотвратить повреждение приемников.

6.2 Категории разности расстояний по оптоволокну

Категории разности расстояний по оптоволокну

Рекомендуемые категории разности расстояний по оптоволокну (DD) приведены в таблице 6-2.

Таблица 6-2 − Категории разности расстояний по оптоволокну, определенные в G.987.2

	DD20	DD40
Максимальная разность расстояний	20 км	40 км

7 Услуги

См. пункт 7 [ITU-T G.987.1].

8 Интерфейс пользователь – сеть и интерфейс узла услуг

См. Дополнение I к [ITU-T G.987.1].

9 Требования к оптической сети

9.1 Уровневая структура оптической сети

См. пункт 5.2.5 [ITU-T G.987.1].

9.2 Требования к уровню, зависимому от физической среды, для XG-PON

Все параметры определены ниже, а их значения соответствуют значениям, приведенным в таблицах с 9-2 по 9-4.

Различают два типа оптических сетевых блоков (ONU) в зависимости от чувствительности приемника ONU.

Все значения параметров приведены для наихудшего случая, учитывают эффекты старения и должны соблюдаться в стандартном диапазоне условий эксплуатации (то есть температуры и влажности). Параметры определены исходя из проектного требования к оптическому участку, состоящего в том, чтобы коэффициент ошибок по битам (BER) не превышал значений, приведенных в таблицах 9-3 и 9-4, в экстремальных условиях затухания и дисперсии в оптическом тракте.

В частности, значения в таблицах 9-3 и 9-4 действительны для полосы расширения, как описано в разделе 10.

9.2.1 Линейная скорость передачи

Линейная скорость передачи кратна 8 кГц. Целевая стандартизированная система пассивных оптических сетей с поддержкой 10-гигабайтных скоростей передачи (XG-PON) поддерживает следующий вариант: XG-PON 1 с линейной скоростью передачи нисходящего потока 9,95328 Гбит/с и линейной скоростью передачи восходящего потока 2,48832 Гбит/с

Определяемые параметры сгруппированы по категориям в зависимости от направления передачи (нисходящее или восходящее) и номинальной линейной скорости передачи, как показано в таблице 9-1.

Таблица 9-1 − Соотношение между категориями параметров и таблицами

Вариант	Направление передачи		Номинальная линейная скорость передачи, Гбит/с	Справочная таблица
XG-PON1	Нисходящее		9,95328	Таблица 9-3
	Восходящее		2,48832	Таблица 9-4

9.2.1.1 Точность при передаче в нисходящем направлении

Когда оптическая магистральная линия (OLT) и оконечная станция находятся в нормальном рабочем состоянии, то OLT, как правило, прослеживается до сервера точного времени Stratum 1 (точность 1×10^{-11}). Если OLT находится в режиме свободной генерации, то точность сигнала в нисходящем направлении синхронизируется как минимум с сервером времени Stratum 4 ($3{,}2 \times 10^{-5}$). К OLT, предназначенным для применения в критичных к временно́й синхронизации системах (например, для передачи транзитного трафика подвижной связи), может предъявляться требование обеспечить в режиме свободной генерации точность, задаваемую Stratum 3.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Временная синхронизация OLT может осуществляться от выделенного источника сигналов времени или от синхронного интерфейса передачи данных (линейная временная синхронизация). Допускается также использование пакетного источника сигналов времени.

9.2.1.2 Точность при передаче в восходящем направлении

В одном из своих рабочих состояний при наличии распределения ONU должен передавать свой сигнал с той же точностью по частоте, что и у принятого сигнала в нисходящем направлении.

9.2.2 Выбор кода FEC для XG-PON

См. пункт 10.3 [ITU-T G.987.3].

9.2.3 Физическая среда и метод передачи

9.2.3.1 Среда передачи

В настоящей Рекомендации используются характеристики оптического волокна, описанного в [ITU-T G.652]. С настоящей Рекомендацией могут быть совместимы и другие типы оптических волокон, например волокно по [ITU-T G.657], применяемое, в частности, для кабелей в зданиях и на отводных участках.

9.2.3.2 Направление передачи

Сигнал через среду передачи передается как в восходящем, так и в нисходящем направлении.

9.2.3.3 Принцип передачи

Двунаправленная передача осуществляется путем использования способа мультиплексирования с разделением по длинам волн (WDM) по одному оптическому волокну.

9.2.4 Линейный код

Метод скремблирования определен в [ITU-T G.987.3].

Для оптических логических уровней принято следующее соглашение:

– для двоичной ЕДИНИЦЫ используется низкий уровень светового излучения;

– для двоичного НУЛЯ используется высокий уровень светового излучения.

9.2.4.1 Нисходящее направление

На нисходящей линии XG-PON1 применяется линейное кодирование без возврата к нулю (NRZ).

9.2.4.2 Восходящее направление

На восходящей линии XG-PON1 применяется линейное кодирование без возврата к нулю (NRZ).

9.2.5 Рабочая длина волны

9.2.5.1 Распределение по длинам волн для нисходящего направления

Диапазон рабочей длины волны XG-PON1 для нисходящего направления передачи определен в таблице 9-3.

9.2.5.2 Распределение по длинам волн для восходящего направления

Диапазон рабочей длины волны XG-PON1 для восходящего направления передачи определен в таблице 9-4.

9.2.6 Параметры PMD XG-PON

9.2.6.1 ODN, совместимая с XG-PON

XG-PON должна работать в сети ODN, параметры которой описаны в таблице 9-2.

Таблица 9-2 − Физические параметры простой ODN (ODS)

Параметр	Единица	Спецификация
Тип оптоволокна (Примечание)	–	[ITU-T G.652] или совместимое
Диапазон затухания (как определено в пункте 6.1)	дБ	Класс N1: 14–29 Класс N2: 16–31 Класс E1: 18–33 Класс E2: 20–35
Максимальная длина оптоволокна между точками S/R и R/S	км	DD20: 20 DD40: 40
Минимальная длина оптоволокна между точками S/R и R/S	км	0
Двунаправленная передача	–	Одноволоконное WDM
Длина волны для технической эксплуатации	нм	См. [ITU-T L.313]
ПРИМЕЧАНИЕ. – См. пункт 9.2.3.1.		

9.2.6.2 Параметры оптического интерфейса для нисходящего направления при скорости передачи 9,95328 Гбит/с

Таблица 9-3 − Параметры оптического интерфейса для нисходящего направления при скорости передачи 9,95328 Гбит/с

Параметр	Единица	Значение					
Передатчик OLT (оптический интерфейс O_{ld})							
Номинальная линейная скорость передачи	Гбит/с	9,95328					
Рабочая длина волны (Примечание 1)	нм	1575–1580					
Линейный код	–	NRZ					
Маска глазковой диаграммы передатчика	–	См. пункт 9.2.7.6.1					
Максимальный коэффициент отражения в точке S/R, измеренный на длине волны передатчика	дБ	Неприменимо					
Минимальное значение ORL сети ODN в точках O_{lu} и O_{ld} (Примечания 2 и 3)	дБ	Более 32					
Класс ODN		N1	N2		E1	E2	
			N2a	N2b		E2a	E2b
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности	дБм	+2,0	+4,0	+10,5	+6	+8	+14,5
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности	дБм	+6,0	+8,0	+12,5	+10	+12	+16,5
Возбуждаемая оптическая мощность в отсутствие данных на входе передатчика	дБм	Неприменимо					
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2					
Допустимый уровень отраженной оптической мощности, воздействующей на передатчик (Примечание 7)	дБ	Более –15					
Диапазон значений коэффициента дисперсии	пс/нм	0–400 (DD20) 0–800 (DD40)					
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30					

Параметр	Единица	Значение					
Передатчик OLT (оптический интерфейс O_{ld})							
Максимальные дифференциальные потери оптического тракта	дБ	15					
Генерация джиттера	–	См. пункт 9.2.9.7.3					
Приемник ONU (оптический интерфейс O_{rd})							
Максимальные потери оптического тракта (Примечание 6)	дБ	1,0					
Максимальный коэффициент отражения в точке R/S, измеренный на длине волны приемника	дБ	Менее –20					
Эталонный уровень коэффициента ошибок по битам (BER)	–	10^{-3} (Примечание 4)					
Класс ODN		N1	N2		E1	E2	
			N2a	N2b		E2a	E2b
Минимальная чувствительность при эталонном уровне BER (Примечание 5)	дБм	–28,0	–28,0	–21,5	–28,0	–28,0	–21,5
Минимальная перегрузка при эталонном уровне BER	дБм	–8,0	–8,0	–3,5	–8,0	–8,0	–3,5
Устойчивость к последовательным идентичным цифрам	биты	Более 72					
Допустимый уровень джиттера	–	См. пункт 9.2.9.7.2					
Допустимый уровень отраженной оптической мощности, воздействующей на приемник (Примечание 8)	дБ	Менее 10					

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В случае развертывания OLT на открытом воздухе допустимый диапазон рабочей длины волны составляет 1575–1581 нм.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Есть необязательные варианты, когда параметр "минимальное значение ORL сети ODN в точках O_{lu} и O_{ld}" может принимать значения от 20 дБ (см. Дополнение I к [b-ITU-T G.983.1]).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Значение коэффициента отражения приемопередатчика ONU, соответствующее "минимальному значению ORL сети ODN в точках O_{lu} и O_{ld}", равно –20 дБ (см. Дополнение II к [b-ITU-T G.983.1]).

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Подробнее см. в пункте 9.4.1 [ITU-T G.Sup39].

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Это требование к чувствительности должно соблюдаться при наличии G-PON и наложенного видеоизображения в той же ODN. При отсутствии G-PON, наложенного видеоизображения или того и другого чувствительность может быть другой (ее точное значение оставлено для дальнейшего изучения).

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Соблюдение этого требования к потерям должно обеспечиваться оптической частью в указанном диапазоне значений выходной мощности. Если передатчик характеризуется более высокими потерями, можно тем не менее привести его в соответствие с требованиями за счет пропорционального повышения минимальной выходной мощности, оставаясь в пределах указанной максимальной выходной мощности. Потери оптического тракта (OPP) ни при каких условиях не должны превышать 2 дБ.

ПРИМЕЧАНИЕ 7. – Параметр, называемый в [ITU-T G.984.2] "допуски на мощность падающей световой волны передатчика".

ПРИМЕЧАНИЕ 8. – Параметр, называемый в [ITU-T G.984.2] "допуски на отраженную оптическую мощность".

9.2.6.3 Параметры оптического интерфейса для восходящего направления при скорости передачи 2,48832 Гбит/с

Таблица 9-4 − Параметры оптического интерфейса для восходящего направления при скорости передачи 2,48832 Гбит/с

Параметр	Единица	Значение			
Передатчик ONU (оптический интерфейс O_{ru})					
Номинальная линейная скорость передачи	Гбит/с	2,48832			
Рабочая длина волны	нм	1260–1280			
Линейный код	–	NRZ			
Маска глазковой диаграммы передатчика	–	См. пункт 9.2.7.6.2			
Максимальный коэффициент отражения в точке R/S, измеренный на длине волны приемника	дБ	Менее –6			
Минимальное значение ORL сети ODN в точках O_{ru} и O_{rd} (Примечания 1 и 2)	дБ	Более 32			
Класс ODN		N1	N2	E1	E2
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности	дБм	+2,0	+2,0	+2,0	+2,0
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности	дБм	+7,0	+7,0	+7,0	+7,0
Возбуждаемая оптическая мощность в отсутствие данных на входе передатчика (Примечание 3)	дБм	Менее чем "минимальная чувствительность при эталонном уровне BER" – 10			
Максимальное число битовых интервалов включения передатчика (Примечание 3)	биты	32			
Максимальное число битовых интервалов выключения передатчика (Примечание 3)	биты	32			
Минимальный коэффициент экстинкции	дБ	8,2			
Допустимый уровень отраженной оптической мощности, воздействующей на передатчик (Примечание 8)	дБ	Более –15			
Диапазон значений коэффициента дисперсии (Примечания 4, 5)	пс/нм	От 0 до –140 (DD20) От 0 до –280 (DD40)			
Минимальный коэффициент подавления боковых мод	дБ	30			
Перенос джиттера	–	См. пункт 9.2.9.7.1			
Генерация джиттера	–	См. пункт 9.2.9.7.3			
Приемник OLT (оптический интерфейс O_{lu})					
Максимальные потери оптического тракта (Примечание 7)	дБ	0,5			
Максимальный коэффициент отражения в точке S/R, измеренный на длине волны приемника	дБ	Менее –20			
Эталонный уровень коэффициента ошибок по битам (BER)	–	10^{-4} (Примечание 6)			
Класс ODN		N1	N2	E1	E2
Минимальная чувствительность при эталонном уровне BER	дБм	–27,5	–29,5	–31,5	–33,5

Параметр	Единица	Значение			
Передатчик ONU (оптический интерфейс O_{ru})					
Минимальная перегрузка при эталонном уровне BER	дБм	–7,0	–9,0	–11	–13
Устойчивость к последовательным идентичным цифрам	бит	Более 72			
Допустимый уровень джиттера	–	См. пункт 9.2.9.7.2			
Допустимый уровень отраженной оптической мощности, воздействующей на приемник (Примечание 9)	дБ	Менее 10			
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Существуют необязательные варианты, когда параметр "минимальное значение ORL сети ODN в точках O_{ru} и O_{rd}" может принимать значения от 20 дБ (см. Дополнение I к [b-ITU-T G.983.1]). ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значение коэффициента отражения приемопередатчика ONU, соответствующее "минимальному значению ORL сети ODN в точках O_{ru} и O_{rd}", равно –20 дБ (см. Дополнение II к [b-ITU-T G.983.1]). ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Как определено в пункте 9.2.7.3.1. ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Диапазон значений коэффициента дисперсии считается наиболее адекватным методом задания спектральных характеристик лазера. Эти значения считаются совместимыми с более старым методом задания значений с использованием максимальной ширины по уровню –20 дБ для линейных скоростей передачи ниже 2,5 Гбит/с. ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Указанное эквивалентное значение максимальной ширины по уровню –20 дБ составляет менее 1 нм. ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Подробнее см. в пункте 9.4.1 [ITU-T G.Sup39]. ПРИМЕЧАНИЕ 7. – Указанное значение потерь действительно при протяженности линии до 40 км. ПРИМЕЧАНИЕ 8. – Параметр, называемый в [ITU-T G.984.2] "допуски на мощность падающей световой волны передатчика". ПРИМЕЧАНИЕ 9. – Параметр, называемый в [ITU-T G.984.2] "допуски на отраженную оптическую мощность".					

9.2.7 Передатчик в O_{ld} и O_{ru}

Все параметры определяются ниже и должны соответствовать таблице 9-3 и таблице 9-4.

9.2.7.1 Тип источника

Учитывая характеристики ослабления/дисперсии целевого волоконно-оптического канала, на практике передатчиками могут служить только лазеры с одной продольной модой (SLM). Настоящая Рекомендация не требует указывать номинальный тип источника излучения, хотя предполагается, что только лазеры SLM отвечают всем предъявляемым требованиям к дальности и линейной скорости передачи по нисходящим и восходящим линиям систем XG-PON.

Применение лазеров с несколькими продольными модами (MLM) не рассматривается в настоящей Рекомендации ввиду свойственных им практических ограничений на дальность и линейную скорость передачи.

9.2.7.2 Спектральные характеристики

Лазер SLM задается диапазоном значений коэффициента дисперсии волокна – диапазоном, в котором характеристики лазера и дисперсия волокна подразумевают определенный размер потерь в волокне заданной протяженности при стандартных условиях эксплуатации. Кроме того, для регулирования шума секционирования моды в системах SLM определяется минимальная величина коэффициента подавления боковых мод лазера. Фактические спектральные характеристики ограничены максимальной величиной потерь оптического тракта (OPP), которая получается при наихудших значениях оптической дисперсии в канале передачи данных.

Использование лазеров с несколькими продольными модами не рассматривается в настоящей Рекомендации.

9.2.7.3 Средняя возбуждаемая мощность

Средняя возбуждаемая мощность в точках O_{ld} и O_{ru} – это средняя мощность псевдослучайной последовательности данных, объединенных передатчиком в волокне. Она задана как некий диапазон, позволяющий оптимизировать некоторые затраты и охватить все допуски на работу в стандартных условиях эксплуатации, постепенное ухудшение параметров соединителя передатчика, допуски на измерения и эффекты старения.

В рабочем состоянии меньшее из чисел – это минимальная мощность, которая должна быть обеспечена, а большее – мощность, которая не должна превышаться ни при каких условиях.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Измерение возбуждаемой мощности в волоконно-оптическом интерфейсе Oru должно учитывать неравномерный характер трафика в восходящем направлении передачи, передаваемого блоками ONU.

9.2.7.3.1 Возбуждаемая оптическая мощность в отсутствие данных на входе передатчика

В идеальном случае на восходящем направлении мощность, вводимая в волокно из передатчика ONU при передаче пакетов, не назначенных этому ONU, должна равняться нулю. Однако допускается, чтобы уровень вводимой в этих условиях оптической мощности был меньше или равен возбуждаемой мощности в отсутствие данных на входе передатчика в течение прохождения пакетов, которые не присвоены ONU. На протяжении битового интервала включения передатчика, который непосредственно предшествует назначенному пакету и может использоваться для предварительной установки смещения лазера, а также битового интервала выключения передатчика, который следует непосредственно за назначенным пакетом, максимально допустимым уровнем возбуждаемой мощности является нулевой уровень, соответствующий определенному в таблицах 9-3 и 9-4 коэффициенту экстинкции.

Максимальное число битовых интервалов включения и выключения передатчика приведено в таблицах 9-3 и 9-4.

Соотношение между уровнями мощности ONU и длительностями пакетов показано на рисунке 9-1.

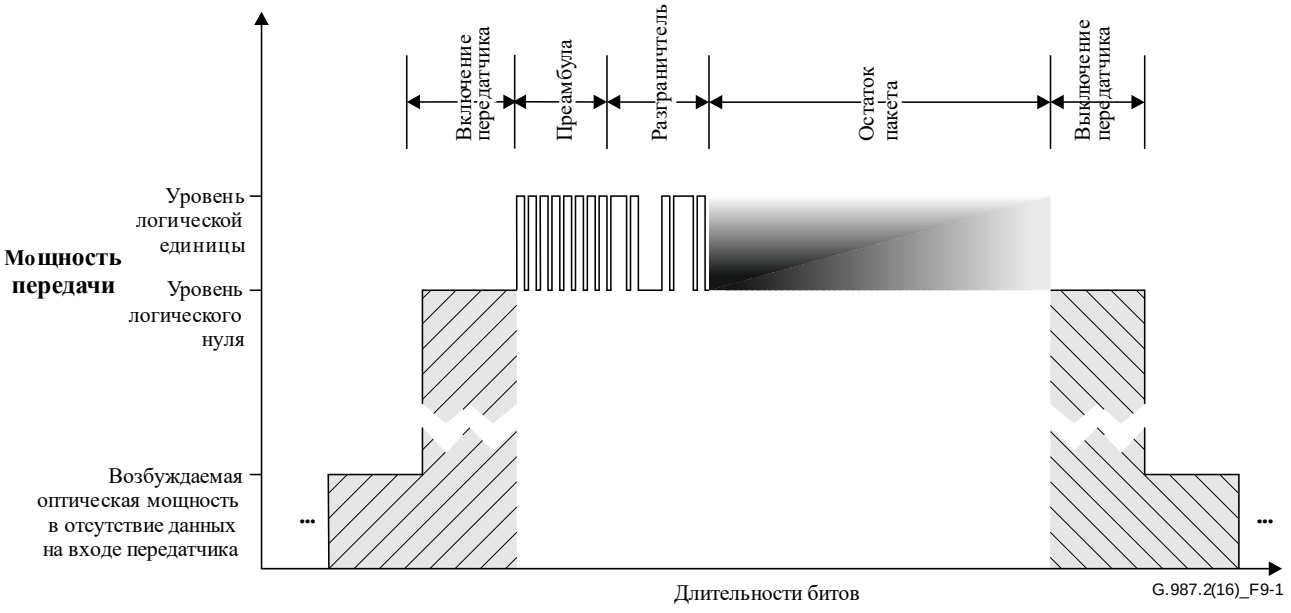


Рисунок 9-1 − Соотношение между уровнями мощности ONU и длительностями пакетов

9.2.7.4 Минимальный коэффициент экстинкции

Коэффициент экстинкции (ER) определяется следующим образом:

$$ER = 10 \log_{10} (A/B),$$

где A – средний уровень оптической мощности в центре двоичной единицы, а B – средний уровень оптической мощности в центре двоичного нуля.

Коэффициент экстинкции для сигнала пакетного режима в восходящем направлении передачи применяется начиная с первого бита преамбулы и заканчивая последним битом пакета включительно.

9.2.7.5 Максимальный коэффициент отражения аппаратуры, измеренный на длине волны передатчика

Отражения от аппаратуры (ONU/OLT) обратно в кабельную сеть определяются максимальным допустимым коэффициентом отражения аппаратуры, измеренным в O_{ld}/O_{ru} в соответствии с таблицей 9-3 и таблицей 9-4.

9.2.7.6 Маска глазковой диаграммы передатчика

В настоящей Рекомендации общие характеристики формы импульса передатчика, включая время нарастания, время спада, отклонение импульса от номинала вверх, отклонение импульса от номинала вниз и затухающие колебания (при ударном возбуждении), которые должны контролироваться для предотвращения чрезмерного ухудшения чувствительности приемника, определены в виде маски глазковой диаграммы передатчика в O_{ld}/O_{ru}. В целях оценки сигнала передачи важно учитывать не только раскрытие "глаза", но также и ограничения по отклонению от номинала вверх и вниз.

9.2.7.6.1 Передатчик OLT

Параметры, определяющие маску глазковой диаграммы (см. рисунок 9-2) для передатчика OLT, показаны в таблице 9-5. Схема установки для измерения маски глазковой диаграммы приведена на рисунке 9-3.

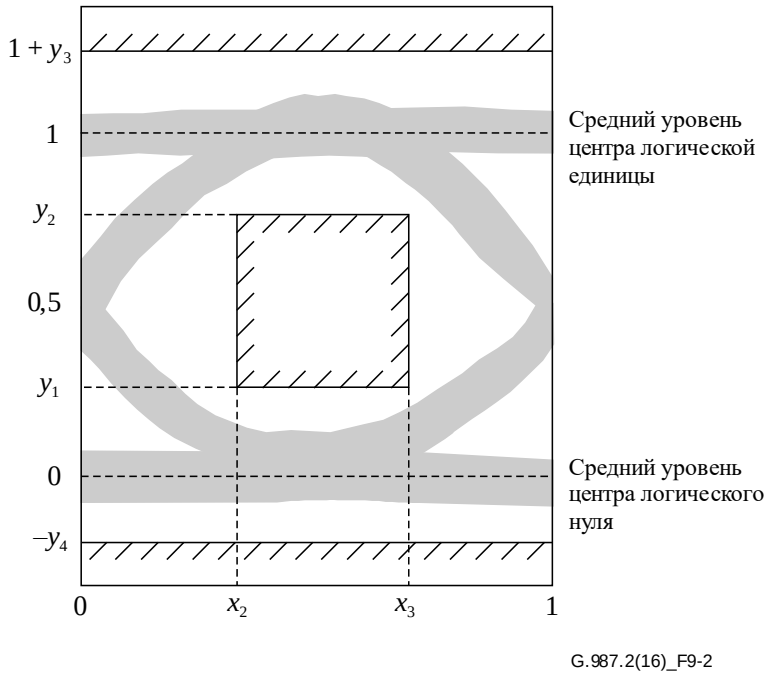
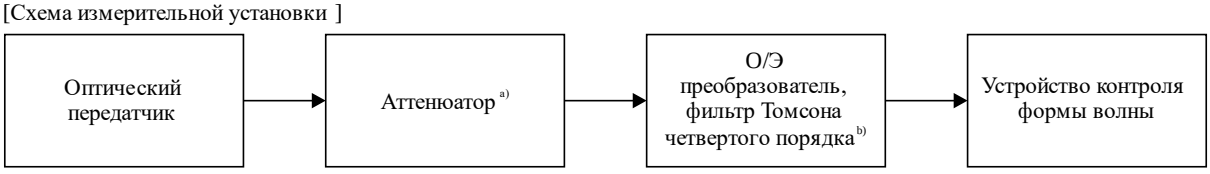


Рисунок 9-2 − Маска глазковой диаграммы для передатчика OLT

Таблица 9-5 − Маска глазковой диаграммы для передатчика OLT – цифровые значения

	9,95328 Гбит/с
x_3–x_2 (Примечание 1)	0,2
y_1	0,25
y_2	0,75
y_3	0,25
y_4	0,25
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Не требуется, чтобы координаты x_2 и x_3 прямоугольной маски глазковой диаграммы располагались на одинаковом расстоянии от вертикальных осей в точках 0 UI и 1 UI. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения взяты из пункта 7.2.2.14 [ITU-T G.959.1].	



a) Аттенюатор применяется при необходимости.

b) Критическая частота (частота затухания 3 дБ) фильтра составляет 0,75 от выходной номинальной битовой скорости передачи.

Рисунок 9-3 − Схема установки для измерения маски глазковой диаграммы передатчика OLT

9.2.7.6.2 Передатчик ONU

Параметры маски глазковой диаграммы передатчика ONU (см. рисунок 9-4) приведены в таблице 9-6. Схема установки для измерения маски глазковой диаграммы приведена на рисунке 9-5.

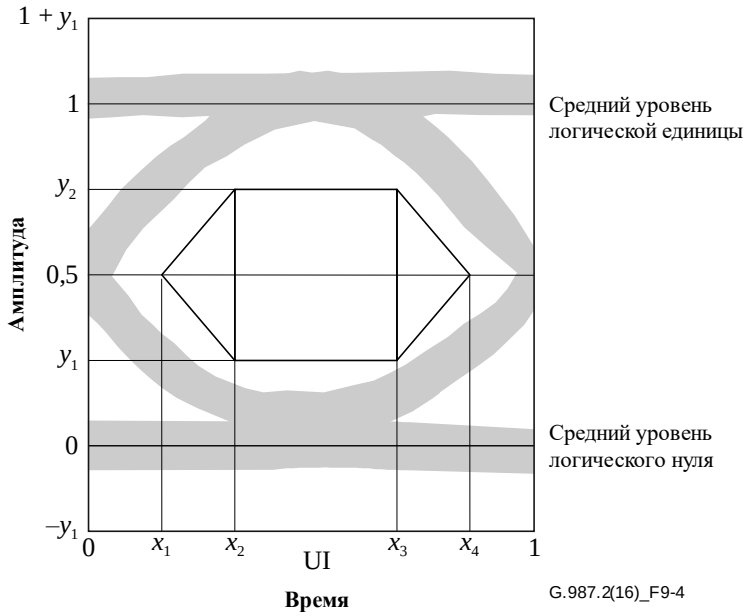
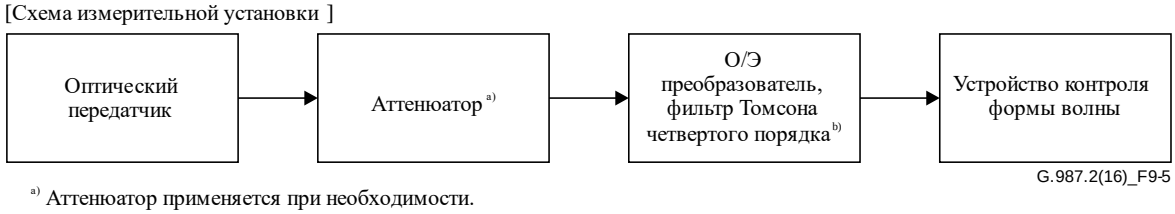


Рисунок 9-4 − Маска глазковой диаграммы для передатчика ONU

Таблица 9-6 − Маска глазковой диаграммы для передатчика ONU – цифровые значения

	2,48832 Гбит/с
x_3–x_2	0,2
y_1	0,25
y_2	0,75
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Не требуется, чтобы координаты x_2 и x_3 прямоугольной маски глазковой диаграммы располагались на одинаковом расстоянии от вертикальных осей в точках 0 UI и 1 UI. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения взяты из пункта 6.2.5 [ITU-T G.957].	



a) Аттенюатор применяется при необходимости.

b) Критическая частота (частота затухания 3 дБ) фильтра составляет 0,75 от выходной номинальной битовой скорости передачи.

Рисунок 9-5 − Схема установки для измерения маски глазковой диаграммы передатчика ONU

Маска глазковой диаграммы для сигнала пакетного режима в восходящем направлении передачи применяется начиная с первого бита преамбулы и заканчивая последним битом пакета включительно.

9.2.7.7 Допустимый уровень отраженной оптической мощности, воздействующей на передатчик

Заданные характеристики передатчика должны быть обеспечены при наличии в эталонной точке S уровня оптического отражения, указанного в таблицах 9-3 и 9-4.

9.2.8 Волоконно-оптический тракт между интерфейсами O_{ld}/O_{ru} и O_{rd}/O_{lu}

9.2.8.1 Диапазон затухания

Установлено четыре класса диапазонов затухания, как определено в пункте 6.1.

Значения затухания предполагаются данными для худшего случая на всех длинах волн, указанных в таблицах 9-3 и 9-4, с учетом потерь на сростках, соединителях, оптических аттенюаторах (если они используются) или других пассивных оптических устройствах, а также запаса по длине кабеля в расчете на:

1) будущие модификации в конфигурации кабеля (дополнительные сращивания, увеличенные длины кабелей и т. д.);

2) изменения характеристик волоконно-оптических кабелей вследствие изменения факторов окружающей среды; и

3) постепенное ухудшение параметров соединителя, оптических аттенюаторов (если они используются) или других пассивных оптических устройств между точками S и R, когда они присутствуют.

9.2.8.2 Минимальные оптические потери кабельной сети на отражения в точке R/S, включая соединители (если они есть)

Суммарные минимальные оптические потери на отражение (ORL) в точке R/S сети ODN приведены в таблицах 9-3 и 9-4.

Минимальные оптические потери на отражение (ORL) в точке S сети ODN (необязательный параметр) приведены в примечании 2 к таблицам 9-3 и 9-4.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Наибольший вклад в суммарный коэффициент отражения в точке S/R по модели ODN вносят оптические соединители в оптическом кроссе (ODF). Максимальный коэффициент отражения отдельного дискретного элемента в рамках [ITU-T G.982] составляет –35 дБ. Коэффициент отражения от двух соединителей ODF приводит к значению –32 дБ. Однако, основываясь на другой модели сети, можно получить общий коэффициент отражения хуже, чем −20 дБ.

9.2.8.3 Максимальный дискретный коэффициент отражения между точками S и R

Все дискретные коэффициенты отражения в ODN должны быть лучше, чем –35 дБ, как определено в [ITU-T G.982].

9.2.8.4 Дисперсия

Для систем, ограничивающим фактором которых считается дисперсия, в таблицах 9-3 и 9-4 даны максимальные значения коэффициента дисперсии (в пс/нм). Эти значения согласуются с установленными максимальными потерями оптических трактов. Они учитывают конкретный тип передатчика и коэффициент дисперсии оптоволокна в диапазоне рабочей длины волны.

9.2.9 Приемник в O_{rd} и O_{lu}

Все параметры определяются ниже и должны соответствовать таблице 9-3 и таблице 9-4.

9.2.9.1 Чувствительность приемника

Чувствительность приемника определена в [ITU-T G.987]. Значения параметров определены в таблице 9-3 и таблице 9-4. В чувствительности приемника учтены потери мощности, обусловленные использованием передатчика в стандартных условиях эксплуатации при наихудших значениях коэффициента экстинкции, времени нарастания и спада импульсов, оптических потерь на отражение в точке R/S, ухудшения характеристик соединителей приемника и допусков на погрешность измерения. Чувствительность приемника не включает потери мощности, связанные с дисперсией, джиттером или отражениями от оптического тракта; эти воздействия определяются отдельно при установлении максимальных потерь оптического тракта.

9.2.9.2 Перегрузка приемника

Перегрузка приемника определена в [ITU-T G.987]. Значения параметров определены в таблице 9-3 и таблице 9-4 соответственно. Приемник должен обладать определенной устойчивостью к возрастающему уровню оптической мощности вследствие запуска или возможных столкновений (коллизий) во время измерения дальности, при котором указанные в таблицах 9-3 и 9-4 значения BER не гарантируются.

9.2.9.3 Максимальные потери оптического тракта

Потери оптического тракта определены в [ITU-T G.987]. Требуется, чтобы приемник был устойчив к потерям оптического тракта, не превышающим значений, указанных в таблицах 9-3 и 9-4.

9.2.9.4 Максимальный коэффициент отражения в точке R/S, измеренный на длине волны приемника

Коэффициент отражения от аппаратуры (ONU/OLT) обратно к кабельной сети определяется по максимальному допустимому коэффициенту отражения аппаратуры, измеренному в O_{rd} и O_{lu}. Он должен соответствовать таблице 9-3 и таблице 9-4.

9.2.9.5 Дифференциальные потери оптического тракта

Под дифференциальными потерями оптического тракта понимается разность между наибольшим и наименьшим уровнями потерь оптического тракта в одной и той же ODN. Максимальные дифференциальные потери оптического тракта приведены в таблицах 9-3 и 9-4.

9.2.9.6 Возможность выделения тактовой частоты

ПРИМЕЧАНИЕ. – Тактовая частота сигнала, передаваемого в восходящем направлении, оперативно извлекается из нескольких чередующихся битов преамбулы. Извлеченная таким образом тактовая частота поддерживается по крайней мере в ходе приема сигнала от разграничителя до конца назначенного пакета включительно, или же извлекается непрерывно из сигнала после преамбулы в ходе приема назначенного пакета.

9.2.9.7 Характеристики джиттера

В этом пункте излагаются требования к оптическим интерфейсам XG-PON, касающиеся джиттера.

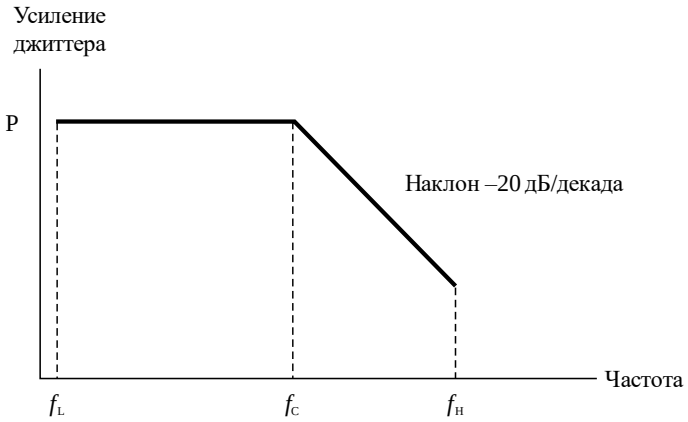
9.2.9.7.1 Перенос джиттера

Спецификация переноса джиттера применима только к ONU.

Функция переноса джиттера определяется как:

$$\textit{Перенос джиттера} = 20\log_{10}\left[\frac{\textit{Джиттер в UI восходящего сигнала}}{\textit{Джиттер в UI нисходящего сигнала}} \times \frac{\textit{Нисходящая битовая скорость}}{\textit{Восходящая битовая скорость}}\right].$$

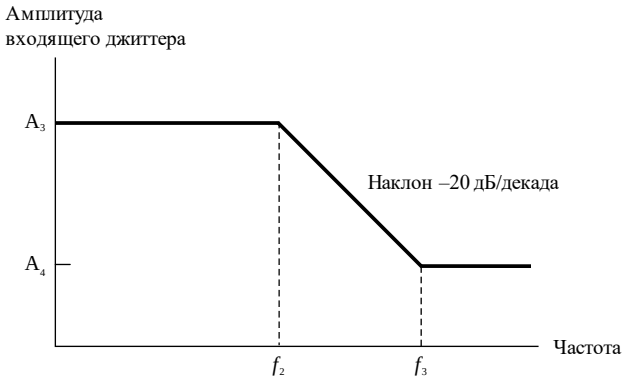
Функция переноса джиттера в ONU должна быть ниже кривой на рисунке 9-6, если на входе прилагается синусоидальный джиттер, соответствующий уровню маски на рисунке 9-7, с параметрами, определенными на этом рисунке для каждой скорости передачи по линии.



Линейная скорость в восходящем направлении, Гбит/с	**f_L, кГц**	**f_C, кГц**	**f_H, кГц**	**P, дБ**
2,48832	20	2000	20'000	0,1
ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения взяты из [ITU-T G.783].				

G.987.2(16)_F9-6

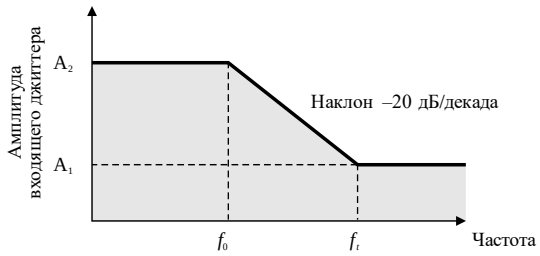
Рисунок 9-6 − Перенос джиттера для ONU



Линейная скорость в нисходящем направлении, Гбит/с	**A_3, UI**	**A_4, UI**	**f_2, кГц**	**f_3, кГц**
9,95328	1,5	0,15	400	4000
ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения взяты из [ITU-T G.783].				

G.987.2(16)_F9-7

Рисунок 9-7 − Маска переноса синусоидального джиттера в верхней части полосы



Линейная скорость передачи, Гбит/с	f_t, кГц	f_0, кГц	A_1, UIp-p	A_2, UIp-p
2,48832	1000	100	0,075	0,75
9,95328	4000	400	0,075	0,75
ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения масштабированы к скорости передачи 10 Гбит/с относительно значений, приведенных в [ITU-T G.984.2].				

G.987.2(16)_F9-8

Рисунок 9-8 − Маска допустимого уровня джиттера

9.2.9.7.2 Допустимый уровень джиттера

Допустимый уровень джиттера определяется как размах амплитуды примененного к входному сигналу XG-PON синусоидального джиттера, при котором потери оптической мощности, регистрируемые на оптическом оборудовании, составляют 1 дБ. Следует иметь в виду, что это нагрузочное испытание проводится с тем, чтобы убедиться, что в условиях эксплуатации не будут понесены никакие дополнительные потери.

ONU должен быть устойчив по крайней мере к такому входному джиттеру, который соответствует маске на рисунке 9-8, с параметрами, приведенными на этом рисунке для линейной скорости в нисходящем направлении. OLT должно быть устойчиво по крайней мере к такому входному джиттеру, который соответствует маске на рисунке 9-8, с параметрами, приведенными на этом рисунке для линейной скорости в восходящем направлении. Допустимый уровень джиттера для OLT имеет справочный характер, так как измерить его можно только в условиях, допускающих непрерывную работу восходящей линии.

9.2.9.7.3 Генерация джиттера

ONU не должен вырабатывать джиттер с размахом амплитуды выше указанного в таблице 9-7 при линейной скорости передачи 2,48832 Гбит/с в условиях, когда на входе нисходящей линии джиттер отсутствует, а полоса частот измерения соответствует таблице 9-7. OLT не должно вырабатывать джиттер с размахом амплитуды выше указанного в таблице 9-7 при линейной скорости передачи 9,95328 Гбит/с в условиях, когда на входе блока синхронизации OLT джиттер отсутствует, а полоса частот измерения соответствует таблице 9-7.

Таблица 9-7 − Требования к генерации джиттера в XG-PON1

Линейная скорость передачи, Гбит/с	Полоса частот измерения (частоты по уровню −3 дБ) (Примечание 1)		Размах амплитуды (UI) (Примечание 2)
	Верхняя частота, кГц	Нижняя частота, МГц −60 дБ/декада	
2,48832	5	20	0,30
	1000	20	0,10
9,95328	20	80	0,30
	4000	80	0,10
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Передаточные функции измерительных фильтров верхних и нижних частот определены в пункте 5 [ITU-T G.825]. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Время измерения, а также критерии соответствия и несоответствия определены в пункте 5 [ITU-T G.825]. ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Эта таблица почерпнута из [ITU-T G.783].			

9.2.9.8 Устойчивость к последовательным идентичным цифрам (CID)

Требуемая устойчивость OLT и ONU к последовательным идентичным цифрам (CID) указана в таблицах 9-3 и 9-4.

9.2.9.9 Допустимый уровень отраженной мощности, воздействующей на передатчик

Допустимый уровень отраженной мощности, воздействующей на передатчик – это допустимое отношение средней входной оптической мощности в точках O_{rd} и O_{lu} к средней отраженной оптической мощности, когда множественные отражения рассматриваются как световой шум в точках O_{rd} и O_{lu} соответственно.

Допустимый уровень отраженной мощности, воздействующей на передатчик, определен при минимальной чувствительности приемника.

9.2.9.10 Качество передачи и коэффициент ошибок

Во избежание простоев и отказов системы структура кадра должна быть устойчива к ошибкам в передаваемом сигнала при BER вплоть до значений, приведенных в таблицах 9-3 и 9-4.

Среднее значение BER на отдельных линиях во всей системе PON будет, как правило, ниже значений, приведенных в таблицах 9-3 и 9-4. Оптические компоненты должны обеспечивать BER ниже значений, приведенных в таблицах 9-3 и 9-4, когда условия работы это позволяют.

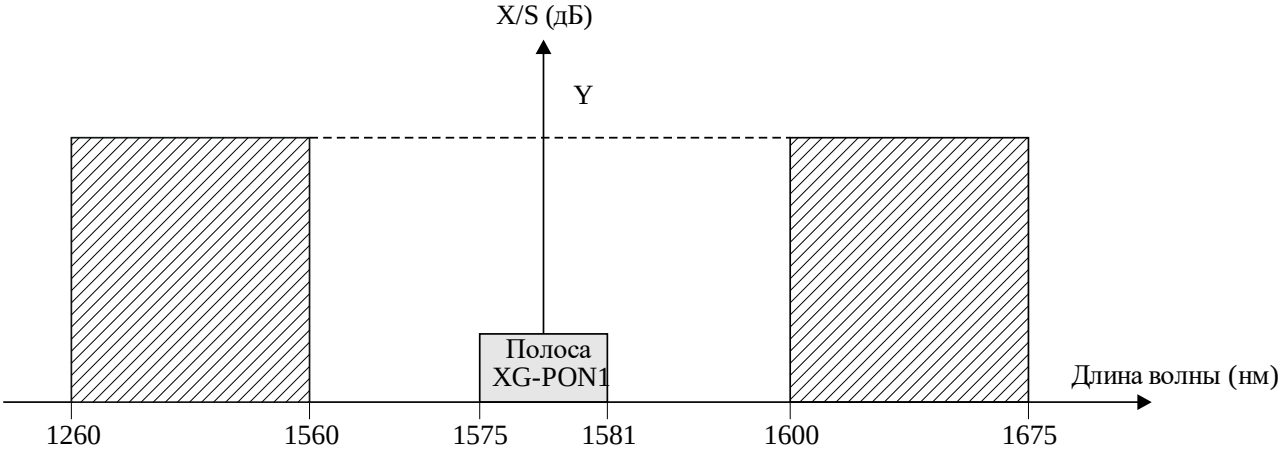
10 X/S-устойчивость ONU XG-PON

Заданная минимальная оптическая чувствительность ONU XG-PON должна обеспечиваться в присутствии мешающих сигналов (помех). Помехи вызываются другими службами (например, G-PON) и/или видеосигналами в полосе расширения длины волны, определенной в [ITU-T G.987.1]. Чтобы минимизировать влияние помех, оптические сетевые блоки (ONU) XG-PON должны обеспечить развязку от них с помощью соответствующего волнового блокирующего фильтра (WBF) и фильтра WDM. Настоящая Рекомендация не устанавливает напрямую характеристик развязки фильтров WBF и WDM, но устанавливает требования к так называемой X/S-устойчивости (помехоустойчивости) ONU XG-PON. В отношении X/S S означает оптическую мощность сигнала XG-PON, а X – оптическую мощность мешающих сигналов. То и другое измеряется в эталонной точке ONU R/S, которая соответствует эталонной точке ONU IF_{XGPON}, описанной в [ITU-T G.987.1].

Формат мешающего сигнала для измерения X/S-устойчивости – псевдослучайная последовательность с линейным кодированием без возврата к нулю (NRZ) на той же линейной скорости, что и у нисходящего сигнала XG-PON, или более низкой скорости в пределах полосы частот приемника XG-PON.

10.1 Универсальная конфигурация WDM

В настоящем пункте описывается X/S-устойчивость оптических сетевых блоков (ONU) XG-PON. Этот параметр можно использовать для проектирования разнообразных конфигураций WDM в ONU. Предположений о дополнительных услугах с использованием полосы расширения длины волны, определенной в [ITU-T G.987.1], не делается. На рисунке 10-1 показана маска X/S-устойчивости, в пределах которой фактическая чувствительность приемника XG-PON не должна отклоняться от требуемой. Пользователям настоящей Рекомендации необходимо задать характеристики развязки фильтров WBF и WDM для обеспечения достаточной развязки от мешающих сигналов. Это позволит соблюсти требование к чувствительности XG-PON при наличии указанного уровня помех. Чтобы обеспечить сосуществование дополнительных служб с XG-PON, длины волн и суммарная введенная оптическая мощность их сигналов должны находиться в пределах маски, приведенной на рисунке 10-1.



Класс	Y, дБ
N1, E1, N2a, E2a	21,5
N2b, E2b	15

Рисунок 10-1 − Маска X/S-устойчивости для ONU (универсальная конфигурация WDM)

S: мощность принятого сигнала в основной полосе.
X: максимальная суммарная мощность сигналов дополнительных служб, принятых в блокируемом диапазоне длины волны.
X/S: в пределах маски (заштрихованная область) фактическая чувствительность приемника XG-PON не должна отклоняться от требуемой.

11 Заголовок физического уровня восходящего потока

Структура кадра XG-PON описана в [ITU-T G.987.3], где представлена спецификация уровня конвергенции передачи (TC). Однако восходящим пакетам должен предшествовать соответствующий служебный заголовок физического уровня, который используется для осуществления ряда физических процессов. В таблице 11-1 приведена длина служебного заголовка физического уровня для линейной скорости передачи восходящего потока, указанной в настоящей Рекомендации.

Таблица 11-1 − Служебный заголовок физического уровня восходящего потока XG-PON

Линейная скорость передачи восходящего потока	Биты служебного заголовка
2,48832 Гбит/с	256

Помимо этого, в Дополнении III приведена информация о физических процессах, которые должны быть осуществлены на протяжении интервала служебного заголовка физического уровня (Tplo), и некоторые указания по наилучшему использованию Tplo.

Дополнение I

Примеры распределения длины волны для XG-PON, G-PON и служб видеораспределения

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Общее рассмотрение распределения длины волны для XG-PON, G-PON и служб видеораспределения см. в Дополнении II к [ITU-T G.984.5].

Дополнение II

Измерения на физическом уровне, требуемые для поддержки контроля на оптическом уровне

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

См. Дополнение IV в Поправке 2 к [ITU-T G.984.2].

Дополнение III

Распределение интервала заголовка физического уровня

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Интервал служебного заголовка физического уровня (Tplo) используется для осуществления пяти физических процессов в PON. Этими процессами являются: время включения/выключения лазера, допуски на дрейф синхронизации, восстановление уровня, восстановление тактовой синхронизации и определение границ начала пакета. Точное деление интервала физического уровня по всем этим функциям определяется частично ограничивающими неравенствами, частично выбором реализаций. В данном Дополнении рассматриваются ограничения, которым должно соответствовать окончание OLT, и предлагаются дискретные значения.

Tplo можно разделить на три подынтервала применительно к тому, какая комбинация данных ONU требуется. Для простоты их можно назвать защитным подынтервалом (Tg), подынтервалом преамбулы (Tp) и подынтервалом разграничителя (Td). На протяжении подынтервала Tg ONU будет передавать мощность не выше номинального нулевого уровня. На протяжении подынтервала Tp ONU будет передавать комбинацию данных преамбулы, которая обеспечивает требуемые плотность переходов и структуру сигнала для быстрого восстановления уровня и тактовой синхронизации. Наконец, на протяжении подынтервала Td ONU будет передавать специальную комбинацию данных с оптимальными автокорреляционными свойствами, которая позволяет OLT найти начало пакета. В таблице III.2 даны рекомендуемые значения Tg, Tp, Td и Tplo. На рисунке III.1 показаны временны́е соотношения между различными интервалами служебного заголовка физического уровня.

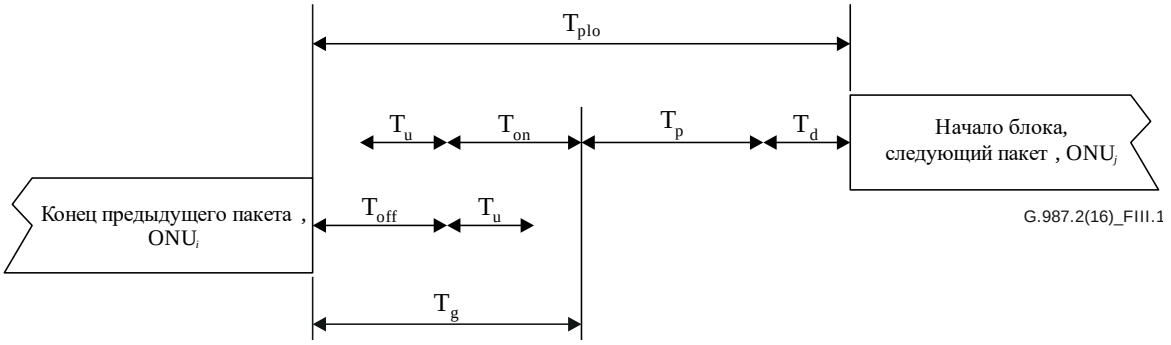


Рисунок III.1 − Временны́е соотношения между различными интервалами служебного заголовка физического уровня

Еще один параметр управляющей логики PON – суммарный размах временно́й неопределенности (Tu). Такая неопределенность вызвана колебаниями времени распространения, которые зависят от колебаний характеристик оптического волокна и компонентов в зависимости от температурных и других факторов внешней среды.

Соответственно OLT должно удовлетворять следующей системе ограничивающих неравенств:

$$Tg > Ton + Tu, \text{ и}$$

$$Tg > Toff + Tu.$$

Эти неравенства можно пояснить следующим образом. Первое неравенство требует, чтобы плавное включение лазера для передачи следующего пакета не пришлось на остаток данных предыдущего пакета. Второе неравенство требует, чтобы затухание излучения лазера при его

выключении после передачи предыдущего пакета не пришлось на преамбулу следующего пакета.

Подынтервал Tp должен быть достаточно длительным для восстановления уровня сигнала (по сути, установления порога принятия решения) и фазы соответствующего тактового сигнала на физическом уровне. Существует множество конструкторских подходов к решению этих двух задач, каждый из которых имеет свои выгоды и издержки. Одни варианты характеризуются высокой скоростью, но требуют сигнала внешнего триггера и обеспечивают не лучшие характеристики в отношении ошибок. В других вариантах скорость ниже, зато не требуется сигнал сброса, а битовые ошибки распределены нормально. При этом каждый из этих вариантов может предъявлять особые требования к комбинации данных преамбулы. В одних вариантах предпочтительна максимальная плотность переходов, тогда как в других – сбалансированное сочетание переходов и контролируемых последовательностей идентичных цифр.

Поскольку выбор конструкторского подхода зависит от реализации OLT, именно OLT задает структуру деталей преамбулы, передаваемой оптическим сетевым блоком (ONU). Об этом, в частности, говорится ниже при обсуждении профиля пакета.

Подынтервал Td должен быть достаточно длительным, чтобы обеспечивать надежное функционирование разграничителя в случае битовых ошибок. Устойчивость разграничителя к ошибкам зависит от конкретной реализации коррелятора комбинация данных, но есть простое приближенное соотношение между числом битов разграничителя (N) и допустимым числом ошибок по битам (E):

$$E = \mathrm{int}(N/4) - 1. \qquad \text{(III-1)}$$

Формула III-1 проверена экспериментально путем численного поиска на множестве всех разграничителей с размерами от 8 до 32 битов. Поиск выполнялся исходя из предположения, что комбинация данных преамбулы представляет собой повторяющуюся последовательность "1010" и что разграничитель содержит равное число единиц и нулей. Было установлено, что расстояние Хэмминга (D) для наилучшего разграничителя среди всех комбинаций данных, полученных его собственным сдвигом, и преамбулы задается формулой $D = \mathrm{int}(N/2) - 1$; при этом обеспечивается указанная устойчивость к ошибкам.

При заданном коэффициенте ошибок по битам (BER) вероятность появления пакета со значительным числом ошибок (Pseb) определяется следующей формулой:

$$Pseb = \binom{N}{E+1} BER^{E+1}. \qquad \text{(III-2)}$$

Подставив уравнение III-1 в уравнение III-2, получим результирующую вероятность Pseb:

$$Pseb = \binom{N}{\mathrm{int}(N/4)} BER^{\mathrm{int}(N/4)}. \qquad \text{(III-3)}$$

Результирующие вероятности Pseb для различных длин разграничителя (N) при BER, равном 10^{-4}, приведены в таблице III.1. Из этой таблицы видно, что для устранения ошибки такого рода длина разграничителя должна составлять по меньшей мере 16 битов. Длину разграничителя и комбинации данных выбирает OLT в рамках профиля пакета.

Таблица III.1 − Вероятность появления пакета со значительным числом ошибок как функция длины разграничителя

N	Pseb
8	$2{,}8 \times 10^{-7}$
12	$2{,}2 \times 10^{-10}$
16	$1{,}8 \times 10^{-13}$
20	$1{,}5 \times 10^{-16}$
24	$1{,}3 \times 10^{-19}$
32	$1{,}1 \times 10^{-25}$
64	$4{,}9 \times 10^{-50}$

В таблице III.2 приведено наихудшее и целевое распределение служебного заголовка физического уровня с учетом изложенных выше соображений. Кроме того, в этой таблице приводятся значения времени включения и выключения передатчика ONU, а также, для справки, значения суммарного времени передачи служебного заголовка физического уровня. Наихудшие значения призваны служить в качестве разумного ограничения для простых реализаций, а целевые – в качестве проектного требования для более эффективных реализаций с оптимизированными компонентами. Эти значения даны для простой ODN без устройств увеличения дальности действия. Такие устройства могут требовать дополнительного временного запаса в защитном подынтервале и подынтервале преамбулы, из-за чего суммарное время передачи служебного заголовка может возрастать.

Таблица III.2 − Рекомендуемое распределение времени передачи заголовка в пакетном режиме для функций OLT XG-PON1

	Включение передатчика	Выключение передатчика	Суммарное время	Защитный подынтервал	Подынтервал преамбулы	Время разграни-чителя
Наихудшее значение (в битовых периодах)	32	32	2048	128	1856	64
Целевое значение (в битовых периодах)	32	32	256	64	160	32

Помимо конструктивных аспектов служебного заголовка пакета, есть еще факторы эксплуатационного характера. Например, обнаружение пакета определения дальности ONU – более сложная задача, нежели прием обычной передачи от ONU. Еще пример: некоторые ONU более мощные, и их сигнал легче обнаружить, поэтому для них не требуется FEC. В связи с этим OLT может запрашивать различные параметры пакета в зависимости от контекста.

Понятие профиля пакета охватывает все аспекты управления служебным заголовком пакета. В профиле пакета задается длина и комбинация данных преамбулы и разграничителя, а также указывается, следует ли передавать биты четности для FEC. OLT определяет один или несколько профилей пакетов, а затем запрашивает тот или иной из этих профилей для передачи конкретного пакета.

OLT пользуется значительной свободой в определении профилей, так как его пакетный приемник чувствителен к параметрам профиля. Поэтому OLT следует использовать профили, обеспечивающие адекватный отклик его пакетного приемника. При этом необходимо соблюдать некоторые базовые требования, предъявляемые на стороне ONU. В частности,

комбинации данных преамбулы и разграничителя должны быть сбалансированными и иметь разумную плотность переходов. Невыполнение этого требования может отрицательно сказаться на работе цепи возбудителя передатчика ONU. Следует также иметь в виду, что комбинации данных преамбулы и разграничителя в разных профилях могут различаться, и эта разница может использоваться приемником OLT в качестве внутриполосной индикации формата каждого пакета (например, информации о том, используется ли FEC).

Подробные сведения о методах распределения профилей пакетов и сигнализации об их использовании приведены в [ITU-T G.987.3] (уровень XGTC XG-PON).

Дополнение IV

Спецификация бюджета джиттера

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

IV.1 Понятие бюджета джиттера

Рисунок IV.1 иллюстрирует в общих чертах концепцию спецификации джиттера, а также место бюджета джиттера в рамках этой концепции.

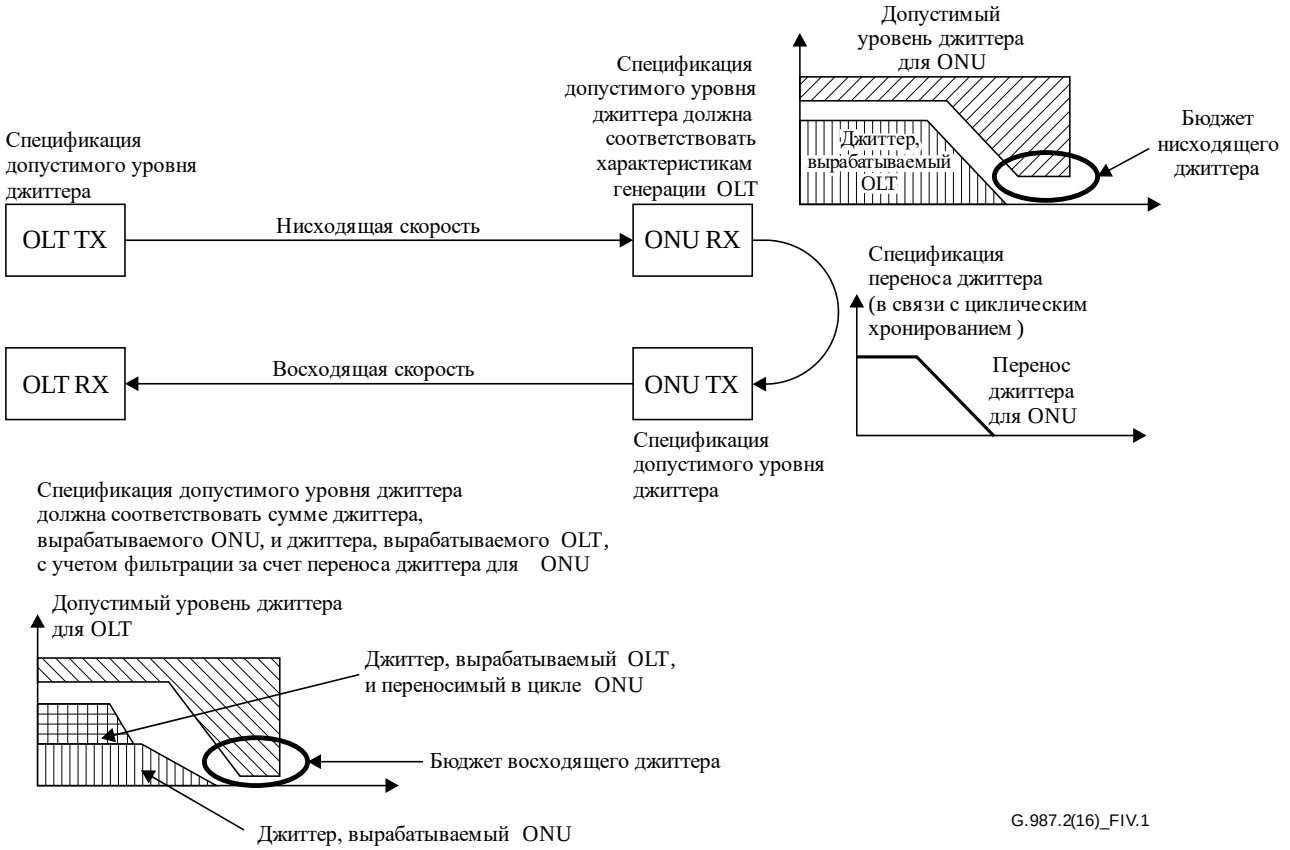


Рисунок IV.1 − Место бюджета джиттера в общей спецификации джиттера

Бюджет джиттера задает те компоненты джиттера, на которые не распространяется спецификация низкочастотного джиттера. Все учитываемые в бюджете компоненты джиттера интегрируются по частотной области, начиная с верхней частоты излома (f_t) маски допустимого уровня джиттера (см. пункт 9.2.9.7.2).

В основе бюджета джиттера лежит двойственная гауссова модель джиттера. В этой модели компоненты джиттера разделяются на детерминированный джиттер (DJ) и случайный джиттер (RJ). Компоненты DJ моделируются бимодальным распределением, а компоненты RJ – нормальным (гауссовым) распределением. Кроме того, искажение рабочего цикла (DCD), являющееся постоянной составляющей, включается в DJ-спецификацию бюджета джиттера. В модель заложены следующие основные предположения:

1) джиттер DJ имеет равновероятное бимодальное распределение, а джиттер RJ – нормальное распределение;

2) все источники случайного джиттера независимы, поэтому допускается суммирование квадратов среднеквадратичных значений случайного джиттера;

3) все источники детерминированного джиттера взаимно скоррелированы (это предположение для худшего случая, означающее, что все компоненты DJ совместно

принимают максимальные или минимальные значения при равной вероятности того и другого).

При этих предположениях суммарный джиттер при заданном значении BER вычисляется по следующей формуле:

$$TJ_{@BER} = DJ + RJ_{RMS} \cdot 2 \cdot Q^{-1}(BER),$$

где $Q^{-1}(BER)$ – функция, обратная функции Q. Строгое определение методов нормирования джиттера см. в [b-ANSI MJSQ].

IV.2 Определение контрольных точек

Чтобы составить внутренне согласованный бюджет джиттера, необходимо определить контрольные точки, в которых будут измеряться компоненты джиттера. Важно отметить, что между оптическим модулем и компонентом SERDES (будь то самостоятельный компонент, соединенный с MAC через параллельный интерфейс, или интегрированный в составе ASIC MAC) находится электрический канал, которым нельзя пренебречь.

Контрольные точки для составления бюджета джиттера показаны на рисунке IV.2, а их описание дано в таблице IV.1.

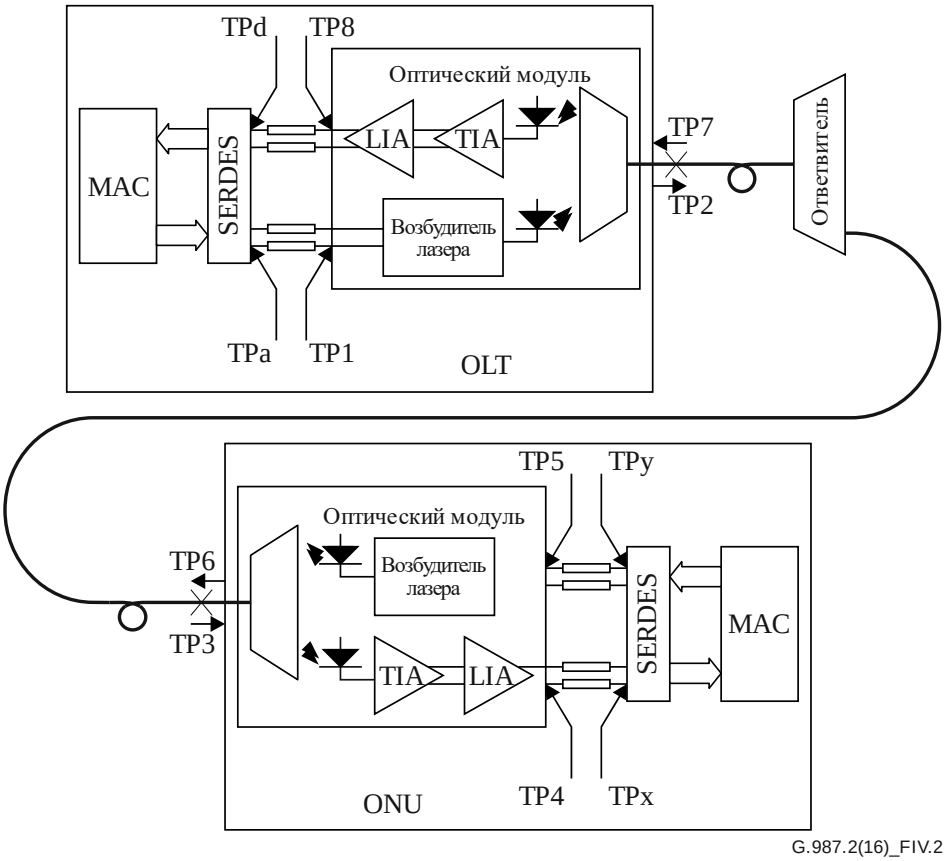


Рисунок IV.2 − Контрольные точки для составления бюджета джиттера

Таблица IV.1 − Описание контрольных точек для составления бюджета джиттера

Контрольная точка	Описание
TPa	Электрическая контрольная точка на контактах выхода передатчика SERDES OLT
TP1	Электрическая контрольная точка на контактах входа передатчика оптического модуля OLT

Таблица IV.1 − Описание контрольных точек для составления бюджета джиттера

Контрольная точка	Описание
TP2	Оптическая контрольная точка на выходе OLT (нисходящее направление)
TP3	Оптическая контрольная точка на входе ONU (нисходящее направление)
TP4	Электрическая контрольная точка на контактах выхода приемника оптического модуля ONU
TPx	Электрическая контрольная точка на контактах входа приемника SERDES ONU
Tpy	Электрическая контрольная точка на контактах выхода передатчика SERDES ONU
TP5	Электрическая контрольная точка на контактах входа передатчика оптического модуля ONU
TP6	Оптическая контрольная точка на выходе ONU (восходящее направление)
TP7	Оптическая контрольная точка на входе OLT (восходящее направление)
TP8	Электрическая контрольная точка на контактах выхода приемника оптического модуля OLT
TPd	Электрическая контрольная точка на контактах входа приемника SERDES OLT

IV.3 Спецификация бюджета джиттера для XG-PON1

Предлагаемые значения компонентов джиттера в различных контрольных точках приведены в таблице IV.2.

Все значения джиттера даны как размах амплитуды при BER, соответствующем указанной контрольной точке. Джиттер во всех контрольных точках, кроме TP4, TPx, TP8 и TPd, определен при BER = 10^{-12}, что представляет собой целевое значение BER для системы, а также значение BER, используемое по умолчанию в контрольно-измерительной аппаратуре. Случайный джиттер на приемнике рассчитывается при уровне мощности, равном сумме минимальной чувствительности и максимальных OPP, которые определены в таблице 9-3 для нисходящего направления и таблице 9-4 для восходящего направления. Джиттер в контрольных точках TP4 и TPx определяется при BER = 10^{-3}, а джиттер в контрольных точках TP8 и TPd – при BER = 10^{-4}, поскольку система полагается на FEC для достижения целевого BER.

Таблица IV.2 − Бюджет джиттера для XG-PON1

Бюджет джиттера нисходящего наравления				
Контрольная точка	**DJ, Uipp**	**RJ, Uipp**	**TJ, Uipp**	**BER**
TPa	0,10	0,14	0,24	10^{-12}
TP1	0,12	0,14	0,26	
TP2	0,21	0,18	0,38	
TP3	0,26	0,18	0,43	
TP4	0,41	0,27	0,67	10^{-3}
TPx	0,50	0,27	0,77	
Бюджет джиттера восходящего направления				
Контрольная точка	**DJ, Uipp**	**RJ, Uipp**	**TJ, Uipp**	**BER**
Tpy	0,07	0,09	0,17	10^{-12}
TP5	0,10	0,09	0,20	
TP6	0,24	0,10	0,35	
TP7	0,24	0,10	0,35	
TP8	0,40	0,19	0,59	10^{-4}
TPd	0,43	0,19	0,62	
ПРИМЕЧАНИЕ. – Значения в таблице IV.2 подлежат дальнейшем изучению и могут быть изменены.				

IV.4 Измерение джиттера для определения соответствия бюджету

Схема измерительной установки, которая может использоваться для измерения компонентов джиттера в контрольных точках, определенных в таблице IV.1, и проверки их соответствия значениям из таблицы IV.2, показана на рисунке IV.3.

В состав измерительной установки входят один OLT и один ONU. ONU настроен для передачи в непрерывном режиме; рекомендуется использовать комбинацию данных PRBS31.

Если требуется измерять джиттер в оптических контрольных точках, необходимо добавить оптические ответвители, чтобы можно было подключить оптоэлектронный преобразователь. Если требуется, чтобы измерение производилось с учетом дисперсии в оптическом волокне, необходимо добавить в измерительную установку катушку с кабелем длиной 20 км.

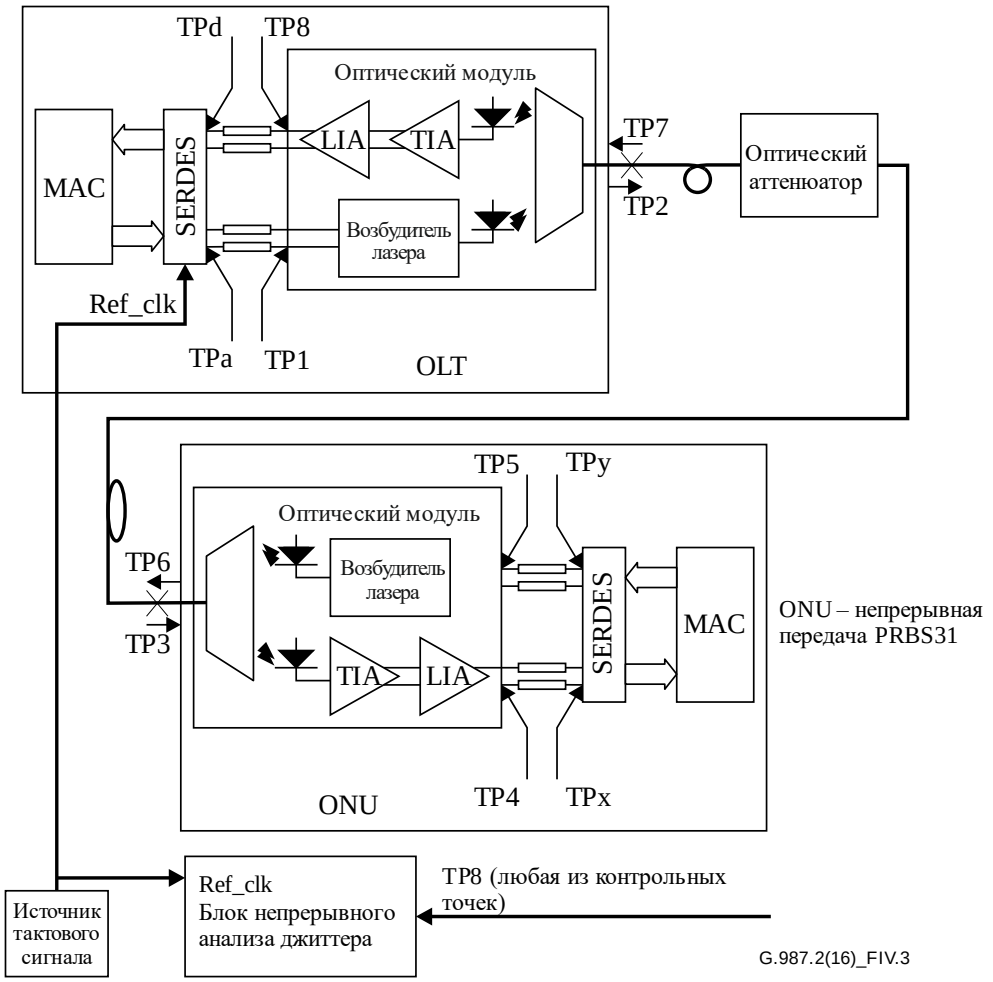


Рисунок IV.3 − Схема измерительной установки для определения соответствия бюджету джиттера

Дополнение V

Измерение времени регистрации и раскрытия глазковой диаграммы в пакетном режиме на OLT

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Одна из основных трудностей реализации функции CDR в пакетном режиме – необходимость обеспечивать устойчивость к переходным эффектам, вызывающим дополнительное закрытие "глаза" в начале пакета. Функция CDR в пакетном режиме должна регистрировать информацию о фазе точно во время преамбулы входящего потока данных, поэтому разумно было бы требовать, чтобы оптический модуль сохранял хорошее качество сигнала. Чем лучше характеристики оптики, тем меньше длина преамбулы, необходимая для правильной работы системы.

Раскрытие "глаза" в пакетном режиме определяется как раскрытие глазковой диаграммы, которое регистрируется, начиная со смещения X относительно начала пакета. Время регистрации в пакетном режиме определяется как наименьшее смещение X относительно начала пакета, при котором параметры глазковой диаграммы соответствуют требованиям. Соответствие требованиям означает, что раскрытие "глаза" соответствует бюджету джиттера и обеспечивает правильные логические уровни сигнала.

Схема установки для измерения времени регистрации и раскрытия глазковой диаграммы в пакетном режиме в начале каждого пакета показана на рисунке V.1.

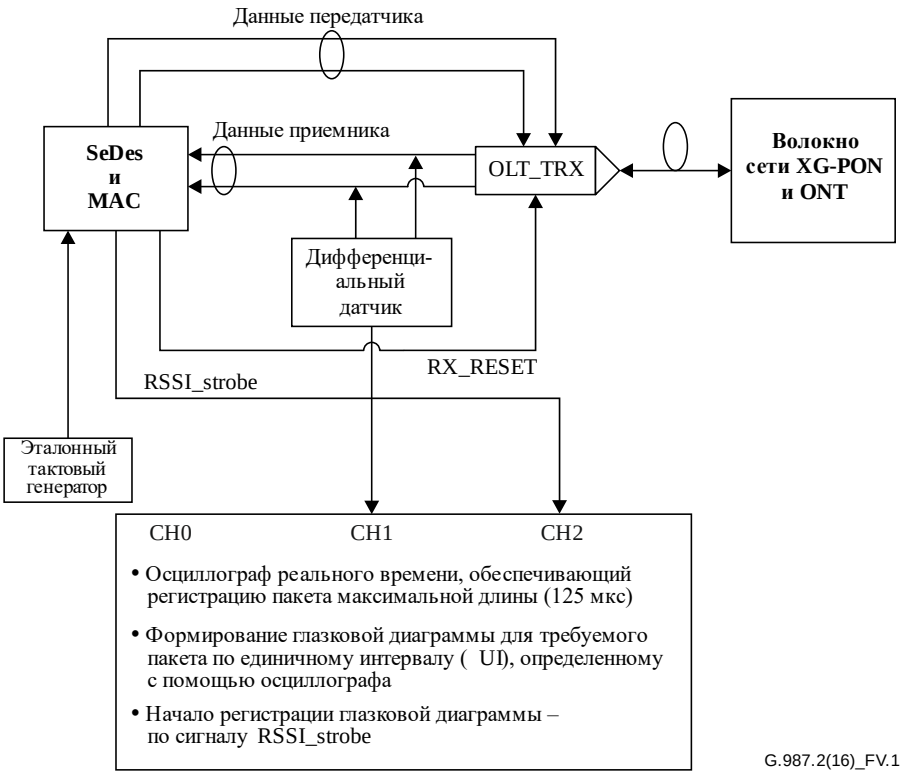


Рисунок V.1 − Схема установки для измерения времени регистрации и раскрытия глазковой диаграммы в пакетном режиме

Ниже приводится список рекомендаций по измерению времени регистрации и проверки соответствия требованиям параметров раскрытия глазковой диаграммы в пакетном режиме.

- Использовать стробоскопический осциллограф с частотой дискретизации 40 гигавыборок в секунду или более и с глубиной памяти не менее 125 мкс (5 млн. выборок) для регистрации глазковой диаграммы.
- Для отделения глазковой диаграммы, соответствующей одному заданному ONU, синхронизацию осциллографа осуществлять по сигналу RSSI-strobe [b-ITU-T G-Sup.48]. Временная диаграмма этого сигнала представлена на рисунке V.2.
- Глазковая диаграмма пакетного режима строится по данным, собранным в окне дискретизации, которое определено на рисунке V.3.
- Глазковая диаграмма строится с использованием единичного интервала (UI) на основе среднего единичного интервала (UI), рассчитанного исходя из собранных данных.
- Дифференциальный датчик для измерения можно разместить либо в точке TP8 (контакты оптического модуля), либо в точке TPd (контакты SERDES), как показано на рисунке IV.2.
- Критерием соответствия должно быть раскрытие глазковой диаграммы в пакетном режиме, превышающее 0,38 UI в точке TPd, и правильные логические уровни сигналов. Следует отметить, что 0,38 UI соответствует 1-TJ в контрольной точке TPd (таблица IV.2).

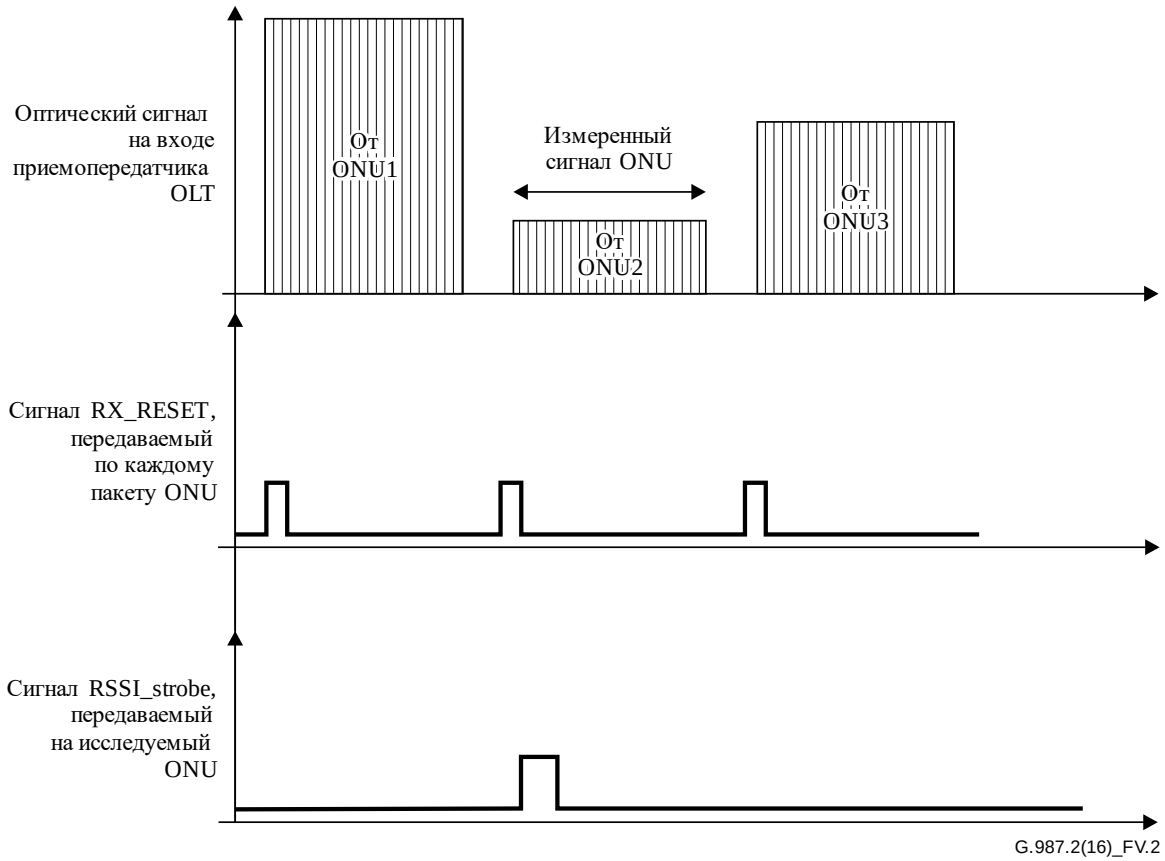


Рисунок V.2 − Временная синхронизация сигнала RSSI_strobe относительно выбранного источника пакетов

Измерительная установка, схема которой показана на рисунке V.1, может использоваться для определения времени регистрации в пакетном режиме на заданном наборе оптических компонентов. Измерение глазковой диаграммы повторяется при различных значениях параметра X (определенного на рисунке V.3), и время регистрации в пакетном режиме для данной системы определяет минимальное значение X, при котором (горизонтальное) раскрытие глазковой диаграммы в пакетном режиме, измеренное в контрольной точке TPd,

превышает 0,38 UI. Следует отметить, что 0,38 UI соответствует 1-TJ в контрольной точке TPd (таблица IV.2).

Надлежащее функционирование системы будет обеспечено при длине преамбулы, превышающей время регистрации в пакетном режиме.

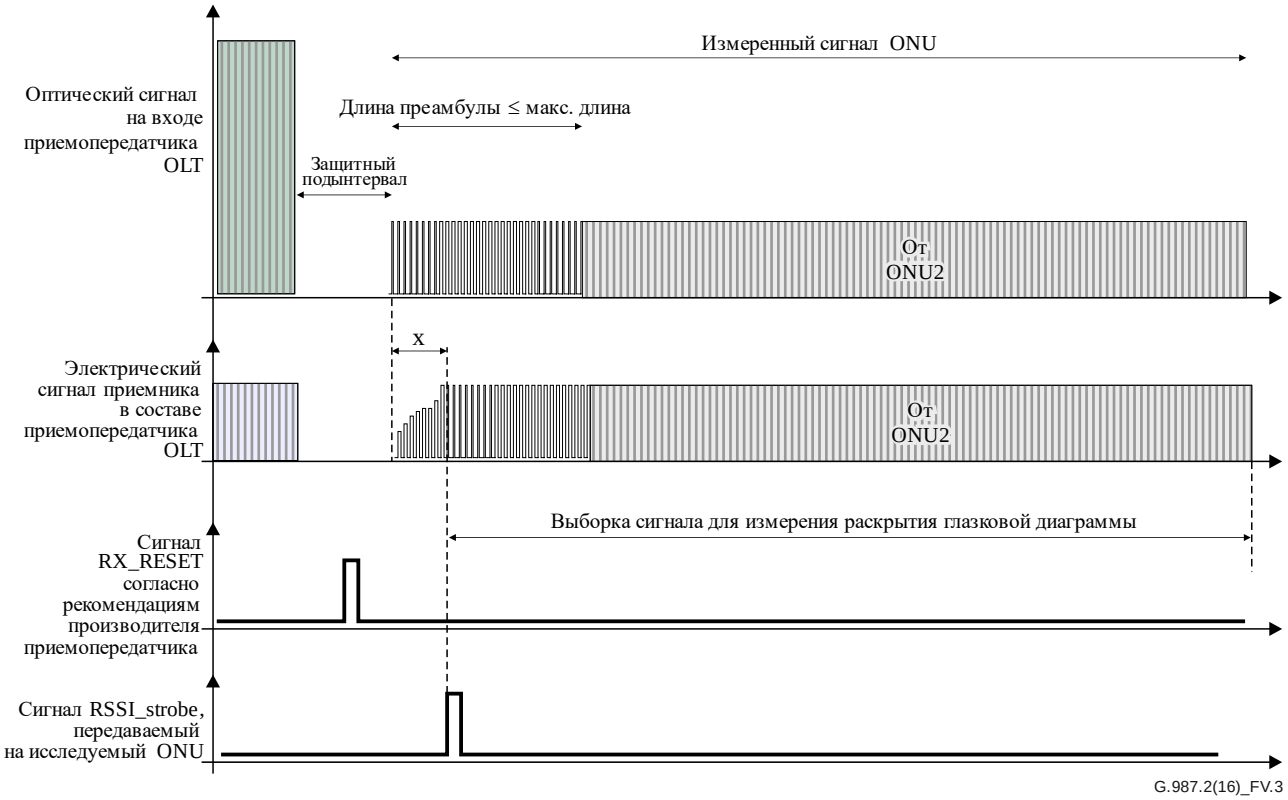


Рисунок V.3 − Временная диаграмма окна дискретизации для измерения времени регистрации и раскрытия глазковой диаграммы в пакетном режиме

Библиография

b-ITU-T G.983.1] Рекомендация МСЭ-Т G.983.1 (2005 год), *Оптические системы широкополосного доступа, базирующиеся на пассивной оптической сети (PON)*

[b-ITU-T G-Sup.48] ITU-T G-series Recommendations – Supplement 48 (2010), *10-Gigabit-capable passive optical networks: Interface between media access control with serializer/deserializer and physical medium dependent sublayers*

[b-ANSI MJSQ] ANSI-T11.2/Project 1316-DT, *Fibre Channel – Methodologies for Jitter and Signal Quality Specification – MJSQ*. <http://ece.wpi.edu/analog/resources/mjsq.pdf>

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия A	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	Окружающая среда и ИКТ, изменение климата, электронные отходы, энергоэффективность; 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, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи

Отпечатано в Швейцарии
Женева, 2019 год