



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

**МСЭ-Т**

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

**G.665**

(01/2005)

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

Характеристики среды передачи – Характеристики  
оптических компонентов и подсистем

---

**Типовые характеристики Рамановских  
усилителей и Рамановских усилительных  
подсистем**

Рекомендация МСЭ-Т G.665

---

## 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 СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ПРОВОДАМ	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
ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.500–G.599
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.600–G.699
Общие положения	G.600–G.609
Симметричные кабельные пары	G.610–G.619
Наземные коаксиальные кабельные пары	G.620–G.629
Подводные кабели	G.630–G.649
Волоконно-оптические кабели	G.650–G.659
<b>Характеристики оптических компонентов и подсистем</b>	<b>G.660–G.699</b>
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 ХАРАКТЕРИСТИКИ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.7000–G.7999
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.8000–G.8999

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

**Типовые характеристики Рамановских усилителей  
и Рамановских усилительных подсистем**

**Резюме**

В этой Рекомендации устанавливаются определения и методы тестирования функциональных параметров следующих типов Рамановских (Raman) волоконно-оптических усилителей и Рамановских усилительных подсистем:

- распределенный Рамановский усилитель с обратной накачкой;
- распределенный Рамановский усилитель с прямой накачкой;
- распределенный Рамановский усилитель с двусторонней накачкой;
- распределенный композитный Рамановский усилитель с обратной накачкой;
- распределенный композитный Рамановский усилитель с двусторонней накачкой;
- дискретный Рамановский усилитель.

В этой Рекомендации описана классификация, код типа и эталонные модели различных Рамановских усилителей. В Рекомендации также даны в общих чертах основные характеристики Рамановских усилителей и описаны параметры функционирования и тестирования Рамановских усилителей.

**Источник**

Рекомендация МСЭ-Т G.665 была одобрена 13 января 2005 г. 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

Всемирная ассамблея по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяет темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

## ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации носит добровольный характер. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (например, для обеспечения возможности взаимодействия или применимости), и соответствие данной Рекомендации достигается в случае выполнения всех этих обязательных положений. Для выражения необходимости выполнения требований используется синтаксис долженствования и соответствующие слова (такие, как "должен" и т. п.), а также их отрицательные эквиваленты. Использование этих слов не предполагает, что соблюдение положений данной Рекомендации является обязательным для какой-либо из сторон.

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на то, что практическое применение или реализация этой может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для реализации этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© ITU 2005

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

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения .....	1
2 Ссылки .....	1
3 Сокращения .....	1
4 Термины и определения .....	2
4.1 Распределенный и дискретный Рамановский усилитель.....	2
4.2 Параметры мощности оптического сигнала .....	3
4.3 Параметры усиления .....	3
4.4 Параметры усиления спектра.....	4
4.5 Параметры шума .....	4
4.6 Параметры мощности накачки.....	5
4.7 Параметры утечки накачки.....	6
4.8 Параметры, зависящие от поляризации .....	6
4.9 Отклик на введение/удаление канала.....	7
4.10 Параметры отражения.....	7
4.11 Параметры вносимых потерь .....	7
4.12 Прочие параметры.....	8
5 Классификация .....	8
5.1 Правила классификации .....	8
5.2 Код типа .....	8
5.3 Эталонная модель.....	9
6 Типовые характеристики Рамановских усилительных устройств.....	11
7 Функциональные параметры и параметры тестирования .....	14
8 Оптическая безопасность .....	15
Дополнение I – Измерения МРІ в системах передачи световых волн.....	15
I.1 Измерение гашения во временной области [1].....	15
I.2 Электрическое измерение [2].....	15
Дополнение II – Физические и эквивалентные модели распределенных Рамановских усилителей .....	16
Дополнение III – Анализ потерь от сростков и соединителей .....	17
БИБЛИОГРАФИЯ .....	19



## Типовые характеристики Рамановских усилителей и Рамановских усилительных подсистем

### 1 Сфера применения

В этой Рекомендации устанавливаются определения и методы тестирования функциональных параметров Рамановских (Raman) волоконно-оптических усилителей и Рамановских усилительных подсистем. Для распределенных или дискретных Рамановских усилителей (с прямой накачкой, обратной накачкой, двусторонней накачкой) или для композитных распределенных и дискретных Рамановских усилителей, определены также типовые характеристики этих усилителей и подсистем.

### 2 Ссылки

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания рекомендаций и других источников, перечисленных ниже. Список действующих в настоящее время Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ в данной Рекомендации не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- ITU-T Recommendation G.661 (1998), *Definition and test methods for the relevant generic parameters of optical amplifier devices and subsystems.*
- ITU-T Recommendation G.662 (1998), *Generic characteristics of optical amplifier devices and subsystems.*
- ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- ITU-T Recommendation G.664 (2003), *Optical safety procedures and requirements for optical transport systems.*
- IEC 61290 series, *Optical Amplifier Test Methods.*
- IEC 61291 series, *Optical fibre amplifiers (General aspects).*
- IEC 61292 series, *Technical Reports of Optical Amplifiers.*
- IEC 60825 series, *Safety of laser products.*

### 3 Сокращения

В этой Рекомендации использованы следующие сокращения:

ASE	Усиленное спонтанное излучение
C	Оптический соединитель, связанный с Рамановским усилителем
DOP	Степень оптической поляризации
DRS	Двойное Релеевское рассеяние
EDFA	Оптический усилитель с присадкой эрбия
$FP_i$	Точка ввода сигнала для Рамановского усилителя с прямой накачкой
$FP_o$	Точка вывода сигнала для Рамановского усилителя с прямой накачкой
FRA	Волоконный Рамановский усилитель

GMP	Точка измерения усиления
MPI	Многоканальное влияние
OA	Оптический усилитель
OAR	Приемник с оптическим усилением
OAT	Передатчик с оптическим усилением
ORL	Оптический коэффициент отражения
PDG	Усиление, зависящее от поляризации
PMD	Дисперсия моды поляризации
RIN	Относительная интенсивность шума
$RP_i$	Точка ввода сигнала для Рамановского усилителя с обратной накачкой
$RP_o$	Точка вывода сигнала для Рамановского усилителя с обратной накачкой
Rx	Приемник (оптический)
SRS	Вынужденное Рамановское рассеивание
Tx	Передатчик (оптический)

#### 4 Термины и определения

В этом разделе описаны различные распределенные Рамановские усилители и дискретный Рамановский усилитель. В этом разделе также определены функциональные параметры Рамановских усилителей.

##### 4.1 Распределенный и дискретный Рамановский усилитель

В этом разделе даны определения распределенного и дискретного Рамановских усилителей. Дальнейшую информацию о Рамановских усилителях этих типов можно получить в IEC 61292-3.

**4.1.1 распределенный Рамановский усилитель:** Распределенные Рамановские усилители – это усилители, у которых эффект усиления достигается с помощью отрезка оптического волокна, использованного для передачи. Такие усилители считают распределенными, поскольку часть или всё передающее волокно используют для целей усиления. Далее распределенные Рамановские усилители можно разделить на три подкатегории:

- **Рамановский усилитель с прямой накачкой:** Энергия накачки и сигнал распространяются по волокну в одном направлении.
- **Рамановский усилитель с обратной накачкой:** Энергия накачки и сигнал распространяются по волокну в противоположных направлениях.
- **Рамановский усилитель с двусторонней накачкой:** Энергия накачки приложена к обоим концам передающего волокна. В этом случае часть энергии накачки распространяется в среде передачи в направлении передаваемого сигнала, а часть – в противоположном направлении.

**4.1.2 дискретный Рамановский усилитель:** Дискретный Рамановский усилитель – это усилитель оптических сигналов, у которого усиление достигается с помощью эффекта волокна SRS, при котором все физические компоненты усилителя полностью находятся внутри одного устройства.



## 4.2 Параметры мощности оптического сигнала

Параметры	Определения	Примечания
4.2.1 Эквивалентная входная мощность	Мощность на входе контрольной точки при деактивации Рамановской накачки.	Для Рамановского усилителя с обратной накачкой вход контрольной точки – это точка $RP_i$ на рис. 1. Для других конфигураций Рамановского усилителя см. 5.3.
4.2.2 Стабильность выхода при большом сигнале	см. 4.9/G.661	
4.2.3 Выходная мощность насыщения (коэффициент сжатия мощности)	см. 4.11/G.661	
4.2.4 Номинальная мощность выходного сигнала	см. 4.12/G.661	
4.2.5 Максимальная общая выходная мощность	см. 4.25/G.661	
4.2.6 Диапазон входной мощности	см. 4.28/G.661	
4.2.7 Диапазон выходной мощности	см. 4.29/G.661	

## 4.3 Параметры усиления

Параметры	Определения	Примечания
4.3.1 Рамановский коэффициент усиления включено/выключено	IEC 61291-1, 3.1.18 и 3.1.19 Возрастание мощности оптического сигнала в точке измерения мощности (GMP), определенной в 5.3, при активации Рамановской накачки, по сравнению с мощностью оптического сигнала в GMP при деактивации Рамановской накачки.	Применимо к распределенным Рамановским усилителям.
4.3.2 Общий коэффициент усиления	Общий коэффициент усиления определяют как комбинированный Рамановский коэффициент усиления включено/выключено и усиление ОА, если такой усилитель используют, с вычитанием из этой величины потерь между контрольными точками входа и выхода усилителя.	
4.3.3 Общий коэффициент усиления канала	Общий коэффициент усиления каждого канала на данной длине волны при многоканальной конфигурации.	
4.3.4 Общий коэффициент усиления слабого сигнала	см. 4.1/G.661	
4.3.5 Общий коэффициент усиления слабого сигнала в обратном направлении	см. 4.2/G.661	
4.3.6 Максимальный общий коэффициент усиления слабого сигнала	см. 4.3/G.661	
4.3.7 Максимальный общий коэффициент усиления слабого сигнала на данной длине волны	см. 4.4/G.661	
4.3.8 Температурные колебания максимального общего коэффициента усиления слабого сигнала	см. 4.5/G.661	

Параметры	Определения	Примечания
4.3.9 Общий коэффициент усиления слабого сигнала в данном диапазоне длин волн	см. 4.6/G.661	
4.3.10 Стабильность общего коэффициента усиления слабого сигнала	см. 4.8/G.661	

#### 4.4 Параметры усиления спектра

Параметры	Определения	Примечания
4.4.1 Средний наклон огибающей спектра коэффициента усиления многоканального сигнала	<p>Для длины волны <math>\lambda_i</math> и соответствующей ей коэффициента усиления <math>G_i</math>, возможна аппроксимация <math>G_i</math> линейным равенством:</p> $\hat{G}_i = b\lambda_i + a,$ <p>где <math>a</math> и <math>b</math> выбирают таким образом, чтобы минимизировать</p> $\sum_{i=0}^n (\hat{G}_i - G_i)^2.$ <p>Средний наклон огибающей спектра коэффициента усиления в вышеприведенном равенстве должен равняться <math>b</math>.</p>	См. также IEC 61291-1, 3.1.7, наклон коэффициента усиления при работе на одной длине волны
4.4.2 Мощность в полосе заданной длины волны	см. 3.1/G.662	
4.4.3 Отклонения общего многоканального усиления	IEC 61291-4, IEC 61291-1, 3.1.10	
4.4.4 Перекрестное насыщение общего коэффициента усиления	IEC 61291-4, IEC 61291-1, 3.1.11	При многоканальной работе
4.4.5 Разность изменения общего многоканального усиления	IEC 61291-4, IEC 61291-1, 3.1.13	
4.4.6 Наклон общего многоканального усиления	IEC 61291-4, IEC 61291-1, 3.1.14	

#### 4.5 Параметры шума

Параметры	Определения
4.5.1 Многодиапазонный интерфейс (MPI)	<p>Для Рамановских усилителей с высоким усилением шум от Релеевского рассеяния может стать доминирующим. В дополнение к излучению ASE, увеличенному простым Релеевским рассеянием, распространяющийся в прямом направлении сигнал может дважды подвергнуться Релеевскому рассеянию. Таким образом, рассеяние DRS может вызвать возрастание влияния MPI.</p> <p>Измерения MPI рассмотрены в Дополнении I.</p> <p>Отсылаем также к IEC 61291-1, 3.1.35, критерий качества при многоканальной интерференции (MPI), и IEC 61291-1, 3.1.36, критерий качества при двойном Релеевском рассеянии.</p>
4.5.2 Дифференциальная относительная интенсивность шума оптического сигнала	<p>Отношение входной относительной интенсивности шума (RIN) к выходной относительности шума RIN оптического сигнала. Эффект вызван главным образом интерференцией MPI в Рамановских усилителях.</p>

Параметры	Определения
4.5.3 Эффективный коэффициент шума (NF)	Эффективный коэффициент шума – это коэффициент шума эквивалентного дискретного оптического усилителя, который установлен на конце оптического кабеля и производит эффективное усиление и такую же выходную мощность ASE, что и при распределенном усилении. В случае композитного усилителя, в эту величину включают усиление и шум ASE стандартного оптического усилителя ОА. Отсылаем также к IEC 61291-1, 3.1.41, эквивалентный общий коэффициент шума.
4.5.4 Эффективный коэффициент шума канала	При многоканальной работе эффективный коэффициент шума, измеренный на центральной частоте канала, представляет эффективный коэффициент шума канала.
4.5.5 Уровень мощности спонтанного излучения (ASE) в прямом направлении усиления	см. 4.14/G.661
4.5.6 Уровень мощности ASE в обратном направлении	см. 4.15/G.661
4.5.7 Эффективный коэффициент шума (F)	Эффективный коэффициент шума, выраженный в линейной форме.
4.5.8 Коэффициент шума при спонтанном сигнале	см. 4.34/G.661
4.5.9 Полоса пропускания при спонтанном сигнале ( $B_{sp-sp}$ )	см. 4.35/G.661
4.5.10 Полоса пропускания ASE	см. 4.36/G.661

#### 4.6 Параметры мощности накачки

Параметры	Определения
4.6.1 Минимальная мощность накачки	Наименьшая мощность накачки, существующая в точке $RP_i$ (при обратной накачке) и/или $FP_o$ (при прямой накачке) от Рамановского источника (источников) накачки, при которой работа Рамановского усилителя стабильна.
4.6.2 Максимальная мощность накачки	Наибольшая мощность накачки, существующая в точке $RP_i$ (при обратной накачке) и/или $FP_o$ (при прямой накачке) от Рамановского источника (источников) накачки.
4.6.3 Интенсивность RIN лазера накачки	Относительная интенсивность шума от энергии накачки.

#### 4.7 Параметры утечки накачки

Параметры	Определения	Примечания
4.7.1 Утечка накачки к выходу	см. 4.20/G.661	В композитном усилителе утечка накачки содержит компоненты, которые вносит Рамановский усилитель, а также компоненты, которые вносит ОА.
4.7.2 Утечка накачки ко входу	см. 4.21/G.661	В композитном усилителе утечка накачки содержит компоненты, которые вносит Рамановский усилитель, а также компоненты, которые вносит ОА.

#### 4.8 Параметры, зависящие от поляризации

Параметры	Определения	Примечания
4.8.1 Степень поляризации (DOP) лазера накачки	IEC 61291-1, 3.1.56, степень поляризации лазера накачки.	
4.8.2 Усиление, зависящее от поляризации (PDG)	см. 4.10/G.661	
4.8.3 Дисперсия моды поляризации (PMD)	см. 4.31/G.661	Параметр PMD Рамановского усилительного устройства объединяет эффекты PMD от передающего волокна и от усилительного устройства. Эффект PMD, вносимый волоконным кабелем определен в серии Рек. МСЭ-Т G.650.

#### 4.9 Отклик на введение/удаление канала

Параметры	Определения
4.9.1 Отклик усиления (в устойчивом состоянии) на введение/удаление канала	IEC 61291-4, IEC 61291-1, 3.1.15 Изменение усиления в устойчивом состоянии любого из каналов при введении/удалении одного или более других каналов для данной многоканальной конфигурации.
4.9.2 Отклик переходной характеристики усиления на введение/удаление канала	IEC 61291-4, IEC 61291-1, 3.1.16 Для данной многоканальной конфигурации максимальное изменение усиления любого из каналов при введении/удалении одного или более других каналов во время переходного процесса при введении/удалении канала.
4.9.3 Время переходной характеристики при введении/удалении канала	IEC 61291-4, IEC 61291-1, 3.1.17 Период времени от момента введения/удаления канала до момента, когда уровень выходной мощности этого или другого канала достигнет и будет оставаться в пределах $+ N$ дБ $\sim - N$ дБ от установившейся величины.

#### 4.10 Параметры отражения

Параметры	Определения
4.10.1 Входное отражение	см. 4.16/G.661
4.10.2 Выходное отражение	см. 4.17/G.661
4.10.3 Максимально допустимое отражение на входе	см. 4.18/G.661
4.10.4 Максимально допустимое отражение на выходе	см. 4.19/G.661
4.10.5 Максимально допустимое отражение на входе и выходе	см. 4.38/G.661

#### 4.11 Параметры вносимых потерь

Параметры	Определения
4.11.1 Потери, вносимые вне полосы	См. 4.22/G.661. Для распределенных Рамановских усилителей это равно общему усилению вне полосы пропускания.
4.11.2 Потери, вносимые вне полосы в обратном направлении	См. 4.23/G.661. Для распределенных Рамановских усилителей это равно общему усилению вне полосы пропускания в обратном направлении.
4.11.3 Потери, вносимые в полосе	См. 4.37/G.661. Для распределенных Рамановских усилителей это равно потерям между контрольными точками входа и выхода усилителя.

## 4.12 Прочие параметры

Параметры	Определения	Примечания
4.12.1 Максимальная потребляемая мощность	см. 4.24/G.661	
4.12.2 Рабочая температура	см. 4.26/G.661	
4.12.3 Оптические соединения	см. 4.27/G.661	
4.12.4 Расположение каналов	IEC 61291-4, IEC 61291-1, 3.1.23	

## 5 Классификация

### 5.1 Правила классификации

Устройства с Рамановским усилением можно классифицировать следующим образом:

- Рамановские усилители с прямой накачкой;
- Рамановские усилители с обратной накачкой;
- Рамановские усилители с двусторонней накачкой;
- дискретные Рамановские усилители (включая композитные дискретные Рамановские усилители и усилители на основе эрбия);
- композитные Рамановские усилители с прямой накачкой и дискретные усилители;
- композитные Рамановские усилители с обратной накачкой и дискретные усилители;
- композитные Рамановские усилители с двусторонней накачкой и дискретные усилители.

Вышеприведенная классификация охватывает как одноканальный, так и многоканальный вариант.

### 5.2 Код типа

Этот раздел включает правила кодов типов Рамановских усилителей и их примеры. Определение кода типа Рамановского усилителя состоит из заглавной буквы, числа и двух строчных букв:

Заглавная буква	Число	Строчная буква 1	Строчная буква 2
-----------------	-------	------------------	------------------

#### 5.2.1 Заглавная буква

C — Рамановский усилитель

#### 5.2.2 Номер

1. дискретные усилители (например, вторичные усилители и/или бустерные усилители);
2. дискретные предварительные усилители;
3. дискретные линейные усилители;
4. дискретный OAT (передатчик с оптическим усилением);
5. дискретный OAR (приемник с оптическим усилением);
6. распределенные Рамановские усилители;
7. композитные распределенные и дискретные усилители.

### 5.2.3 Строчные буквы

Строчная буква 1:

- a усилители для передачи аналогового канала на одной длине волны;
- b усилители для передачи цифрового канала на одной длине волны;
- c усилители для цифровой передачи многоканального сигнала.

Строчная буква 2:

- f с прямой накачкой;
- g с обратной накачкой;
- b с двусторонней накачкой.

### 5.2.4 Примеры кодов типов

Существует много комбинаций элементов вышеперечисленных кодов типов (заглавная буква, число и строчные буквы) для создания действительного кода типа. Из таких действительных кодов типов два показаны ниже в качестве примеров.

S6сг: распределенный Рамановский усилитель с обратной накачкой для цифровой передачи многоканального сигнала.

S7bb: композитный усилитель с двусторонней накачкой для передачи одного цифрового канала.

### 5.3 Эталонная модель

В этом разделе определены эталонные модели различных Рамановских усилительных устройств.

В нижеприведенных иллюстрациях название контрольной точки с индексом (i) обозначает контрольную точку на входе, а с индексом (o) – контрольную точку на выходе.

В каждом случае точка, помеченная как GMP, – это точка измерения усиления, в которой измеряют мощность двух сигналов. Мощность одного сигнала измеряют, когда действуют Рамановские накачки ( $P_{ON}$ ), а мощность другого сигнала измеряют, когда Рамановские накачки не действуют ( $P_{OFF}$ ).

Отношение Рамановского усиления включено/выключено определяют как  $10\text{Log}\left(\frac{P_{ON}}{P_{OFF}}\right)$ .

Соединители (разъемы), помеченные на рис. 1–6 как "С", являются соединителями, непосредственно связанными с Рамановскими сигналами накачки (там, где таковые имеются), и эти соединители считают частью усилительного устройства. Эта точка зрения на соединители отличается от точки зрения МЭК. Более подробно этот вопрос рассмотрен в Дополнении III.

На рисунке 1 показан Рамановский усилитель с обратной накачкой.

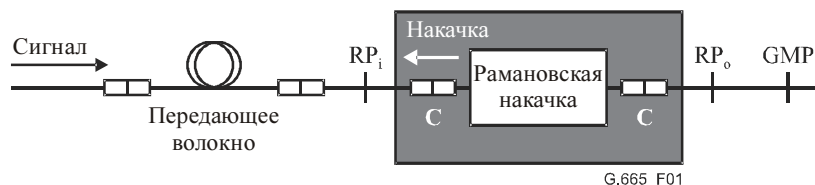


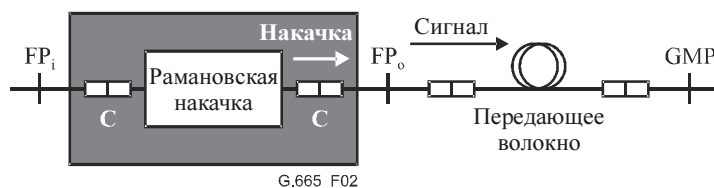
Рисунок 1/G.665 – Рамановский усилитель с обратной накачкой

$RP_i$  это контрольная точка входного сигнала с обратной накачкой

$RP_o$  это контрольная точка выходного сигнала с обратной накачкой

Общее усиление – это усиление включено/выключено за вычетом потерь между контрольными точками  $RP_i$  и  $RP_o$ , как описано в 4.3.2.

Рамановский усилитель с прямой накачкой показан на рис. 2.



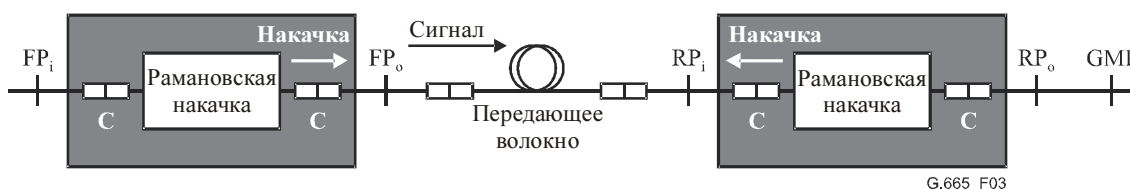
**Рисунок 2/G.665 – Рамановский усилитель с прямой накачкой**

$FP_i$  это контрольная точка входного сигнала с прямой накачкой

$FP_o$  это контрольная точка выходного сигнала с прямой накачкой

Общее усиление – это усиление включено/выключено за вычетом потерь между контрольными точками  $FP_i$  и  $FP_o$ .

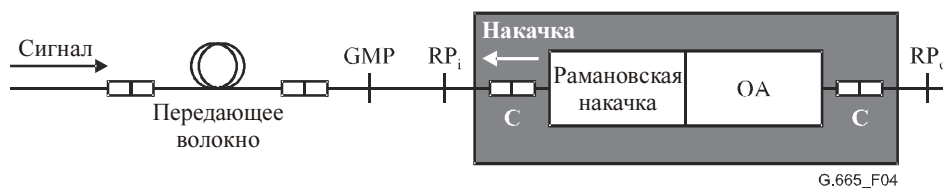
Рамановский усилитель с двусторонней накачкой показан на рис. 3.



**Рисунок 3/G.665 – Рамановский усилитель с двусторонней накачкой**

Общее усиление – это усиление включено/выключено за вычетом потерь между контрольными точками  $FP_i$  и  $FP_o$ , а также контрольными точками  $RP_i$  и  $RP_o$ .

Композитный Рамановский усилитель с обратной накачкой показан на рис. 4.

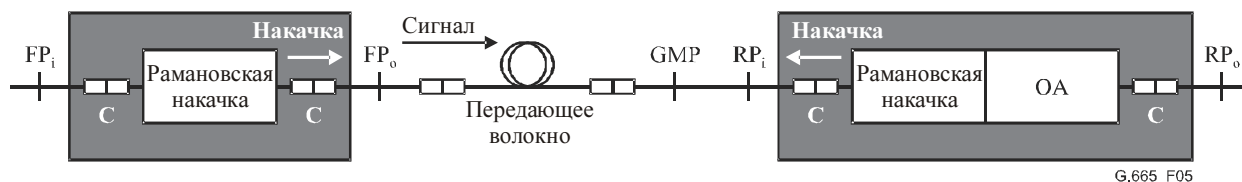


**Рисунок 4/G.665 – Композитный Рамановский усилитель с обратной накачкой**

Композитный Рамановский усилитель с прямой накачкой можно рассматривать как Рамановский усилитель с прямой накачкой, за которым следует оптический усилитель. Поэтому такая конфигурация далее в этой Рекомендации не обсуждается.

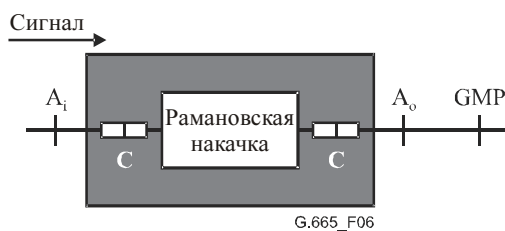
Композитный Рамановский усилитель с двусторонней накачкой показан на рис. 5.





**Рисунок 5/G.665 – Композитный Рамановский усилитель с двусторонней накачкой**

Дискретный Рамановский усилитель показан на рис. 6.



**Рисунок 6/G.665 – Дискретный Рамановский усилитель**

Типовые характеристики этого класса Рамановских усилителей аналогичны характеристикам дискретных оптических усилителей, рассмотренных в Рек. МСЭ-Т G.661, и поэтому в данной Рекомендации повторяться не будут. Контрольные точки  $A_i$  и  $A_o$  помечены соответственно для входа и выхода дискретного Рамановского усилителя.

## 6 Типовые характеристики Рамановских усилительных устройств

В этом разделе описаны типовые характеристики различных Рамановских распределенных и композитных усилителей.

В таблице введены различные измерительные точки, в которых предполагается измерение параметров. Обозначение NA указывает, что при заданной конфигурации усилителя измерение этого параметра не применяется. Точка измерения усиления (GMP) и контрольные точки ( $FP_i$ ,  $FP_o$ ,  $RP_i$  и  $RP_o$ ) описаны в 5.3. См. Таблицы 1 и 2.

Табл. 1/G.665 – Типовые характеристики распределенных Рамановских усилителей

	С обратной накачкой		С прямой накачкой		С двусторонней накачкой	
	Один канал	Много каналов	Один канал	Много каналов	Один канал	Много каналов
Диапазон полосы усиления	GMP	NA	GMP	NA	GMP	NA
Расположение каналов	NA	GMP	NA	GMP	NA	GMP
Максимальная разность усиления каналов	NA	GMP	NA	GMP	NA	GMP
Усредненный наклон спектра усиления канала	NA	GMP	NA	GMP	NA	GMP
Отклик усиления (в устойчивом состоянии) на введение/удаление канала	NA	GMP	NA	GMP	NA	GMP
Рамановское усиление в положении включено/выключено	GMP		GMP		GMP	
Эффективный коэффициент шума	GMP		GMP		GMP	
Относительная разность интенсивности шума оптического сигнала	Между сигналом в точке входа оптического волокна с накачкой и сигналом в точке $RP_o$ .		Между сигналом в точке $FP_i$ и сигналом в точке выхода оптического волокна с накачкой.		Между сигналами в точках $FP_i$ и $RP_o$ .	
Диапазон входной мощности	NA		$FP_i$		$FP_i$	
Эквивалентный диапазон входной мощности	$RP_i$		$FP_i$		$FP_i$	
Диапазон выходной мощности	$RP_o$		NA		$RP_o$	
Коэффициент отражения сигнала на входном интерфейсе	$RP_i$		$FP_i$		$FP_i$	
Коэффициент отражения сигнала на выходном интерфейсе	$RP_o$		$FP_o$		$RP_o$	
Коэффициент отражения сигнала на интерфейсе накачки	$RP_i$		$FP_o$		$FP_o$ & $RP_i$	
Максимально допустимый коэффициент отражения сигнала на входном интерфейсе	$RP_i$		$FP_i$		$FP_i$	
Максимально допустимый коэффициент отражения сигнала на выходном интерфейсе	$RP_o$		$FP_o$		$RP_o$	
Максимально допустимый коэффициент отражения на интерфейсе накачки	$RP_i$		$FP_o$		$FP_o$ & $RP_i$	
Мощность накачки	$RP_i$		$FP_o$		$FP_o$ & $RP_i$	
Утечка накачки ко входному сигналу (в восходящем направлении)	NA		$FP_i$		$FP_i$	
Утечка накачки к выходному сигналу	$RP_o$		NA		$RP_o$	
Соответствующее оптическое соединение	$RP_i, RP_o$		$FP_i, FP_o$		$FP_i, FP_o, RP_i, RP_o$	
Интенсивность RIN лазера накачки	$RP_i$		$FP_o$		$FP_o$ & $RP_i$	
Поляризация DOP лазера накачки	$RP_i$		$FP_o$		$FP_o$ & $RP_i$	

Таблица 2/G.665 – Типовые характеристики композитных Рамановских усилителей

	С обратной накачкой		С двусторонней накачкой	
	Один канал	Много каналов	Один канал	Много каналов
Диапазон полосы усиления	GMP	NA	GMP	NA
Расположение каналов	NA	GMP	NA	GMP
Максимальная разность усиления каналов	NA	GMP	NA	GMP
Усредненный наклон спектра усиления канала	NA	GMP	NA	GMP
Отклик усиления (в устойчивом состоянии) на введение/удаление канала	NA	GMP	NA	GMP
Рамановское усиление в положении включено/выключено при работе ОА	GMP		GMP	
Эффективный коэффициент шума	$RP_o$		$RP_o$	
Относительная разность интенсивности шума оптического сигнала	Между сигналом в точке входа оптического волокна с накачкой и сигналом в точке $RP_o$ .		Между сигналами в точках $FP_i$ и $RP_o$ .	
Диапазон входной мощности	NA		$FP_i$	
Эквивалентный диапазон входной мощности	$RP_i$		$FP_i$	
Диапазон выходной мощности	$RP_o$		$RP_o$	
Коэффициент отражения сигнала на входном интерфейсе	$RP_i$		$FP_i$	
Коэффициент отражения сигнала на выходном интерфейсе	$RP_o$		$RP_o$	
Коэффициент отражения сигнала на интерфейсе накачки	$RP_i$		$RP_i$ & $FP_o$	
Максимально допустимый коэффициент отражения сигнала на входном интерфейсе	$RP_i$		$FP_i$	
Максимально допустимый коэффициент отражения сигнала на выходном интерфейсе	$RP_o$		$RP_o$	
Максимально допустимый коэффициент отражения на интерфейсе накачки	$RP_i$		$RP_i$ & $FP_o$	
Мощность накачки	$RP_i$		$RP_i$ & $FP_o$	
Утечка накачки ко входному сигналу (в восходящем направлении)	NA		$FP_i$	
Утечка накачки к выходному сигналу	$RP_o$		$RP_o$	
Соответствующее оптическое соединение	$RP_i, RP_o$		$RP_i, RP_o, FP_i, FP_o$	
Интенсивность RIN лазера накачки	$RP_i$		$RP_i$ & $FP_o$	
Поляризация DOP лазера накачки	$RP_i$		$RP_i$ & $FP_o$	

## 7 Функциональные параметры и параметры тестирования

Этот раздел содержит минимальный список функциональных и тестовых параметров Рамановских усилителей и Рамановских усилительных подсистем. Особые значения этих параметров следует определять скорее из приложения к соответствующей системной Рекомендации, чем из приведенных здесь значений.

**Таблица 3/G.665 – Характеристики и параметры тестирования**

	Параметры	Единицы	Метод тестирования
Функциональные параметры	Расположение каналов (Примечание 1)	нм	
	Полоса мощности (Примечание 2)	нм	
	Рамановский коэф. усиления включено/выключено	дБ	IEC 61290-1
	Отклонение многоканального усиления (неравномерность) (Примечание 1)	дБ	IEC 61290-1
	Отклик усиления в устойчивом состоянии на введение/удаление канала (Примечание 1)	дБ	IEC 61290-1
	Отклик усиления в переходном состоянии на введение/удаление канала (Примечание 1)	дБ	IEC 61290-1
	Эффективный коэффициент шума	дБ	IEC 61290-3
	Относительная разность интенсивности шума оптического сигнала (Примечание 3)	дБ/Гц	IEC 61292-2
	Диапазон входной мощности	дБм	IEC 61290-2
	Максимальная общая выходная мощность	дБм	IEC 61290-2
	Максимально допустимый коэффициент отражения сигнала на входном интерфейсе	дБ	IEC 61290-5
	Максимально допустимый коэффициент отражения сигнала на выходном интерфейсе	дБ	IEC 61290-5
	Коэффициент отражения сигнала на входном интерфейсе	дБ	IEC 61290-5
	Коэффициент отражения сигнала на выходном интерфейсе	дБ	IEC 61290-5
	Мощность накачки	дБм	IEC 61290-2
	Утечка накачки ко входному или выходному сигналу	дБм	IEC 61290-6
	Интенсивность RIN лазера накачки	дБ/Гц	IEC 61292-2 или IEC 61290-3
	Поляризация DOP лазера накачки	%	IEC 61290-11
	Тип волокна		
	Оптическое соединение		
	Длина волокна	км	
	Мощность потребления	Вт	
PMD (Примечание 3)	пс	IEC 61290-11	
PDG	дБ	IEC 61290-1	

**Таблица 3/G.665 – Характеристики и параметры тестирования**

	<b>Параметры</b>	<b>Единицы</b>	<b>Метод тестирования</b>	
Параметры окружающей среды	Рабочая температура	°	IEC 61290-8	
	Максимальная рабочая относительная влажность	%	IEC 61290-8	
	Максимальная устойчивость к вибрации	диапазон частот	Гц	IEC 61290-8
		амплитуда	мм пик-пик	IEC 61290-8
	Температура хранения	°	IEC 61290-8	
	Максимальная относительная влажность хранения	%	IEC 61290-8	
	Максимальная устойчивость к удару	Ускорение	g	IEC 61290-8
		Продолжительность	мс	IEC 61290-8
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Только для многоканальных усилителей. ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Только для одноканальных усилителей. ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Хотя и возможно отнести эти параметры к распределенным усилителям, здесь это - только рекомендуемая стандартизация для отдельных случаев.				

## **8 Оптическая безопасность**

Вследствие высокой оптической мощности, которую распределенные Рамановские усилители вводят в волокно (потенциально свыше +30 дБм), следует соблюдать процедуры безопасности, указанные в Рек. МСЭ-Т G.664, IEC 61292-4, IEC 60825-1 и IEC 60825-2. Следует также ознакомиться с IEC 60825-1 и IEC 60825-2. Кроме того, в Рек. МСЭ-Т G.664 указаны применение APR и процедуры запуска и гашения, а в IEC 61292-4 содержатся информативные ссылки для прочих предосторожностей, включая возможный физический ущерб и ущерб от пожара.

## **Дополнение I**

### **Измерения MPI в системах передачи световых волн**

#### **I.1 Измерение гашения во временной области [1]**

В этом методе сигнал в Рамановский усилитель пропускают и задерживают с помощью опто-акустического переключателя. Используя второй переключатель после усилителя, этот сигнал дискретизируют либо в фазе – для измерения собственно сигнала, либо не в фазе – для измерения мощности Релеевского рассеивания. Метод требует быстродействующих опто-акустических переключателей с высокой эффективностью гашения. Это измерение можно также выполнить с помощью управляемых импульсами устройств OSA.

См. также IEC 61290-10-1 и IEC 61290-10-2.

#### **I.2 Электрическое измерение [2]**

Величину влияния MPI в системе можно определить, используя фотодиод и электрический анализатор спектра и измеряя шум, созданный биениями между сигналом и этим сигналом с задержкой. Однако Рамановский усилитель создает спонтанное излучение, которое также генерирует шум биения в приемнике. Чтобы определить MPI по этому методу, следует вычесть прочие источники шума. Данный метод связан с калибровкой имитатора MPI и вычитанием излучения ASE, вызывающего шум биений.

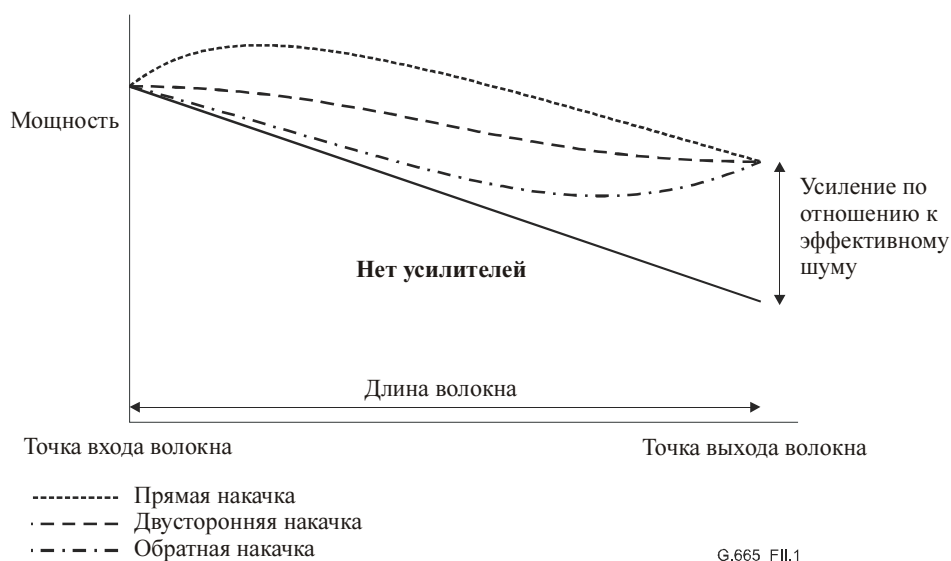
См. также IEC 61290-3-2.

## Дополнение II

### Физические и эквивалентные модели распределенных Рамановских усилителей

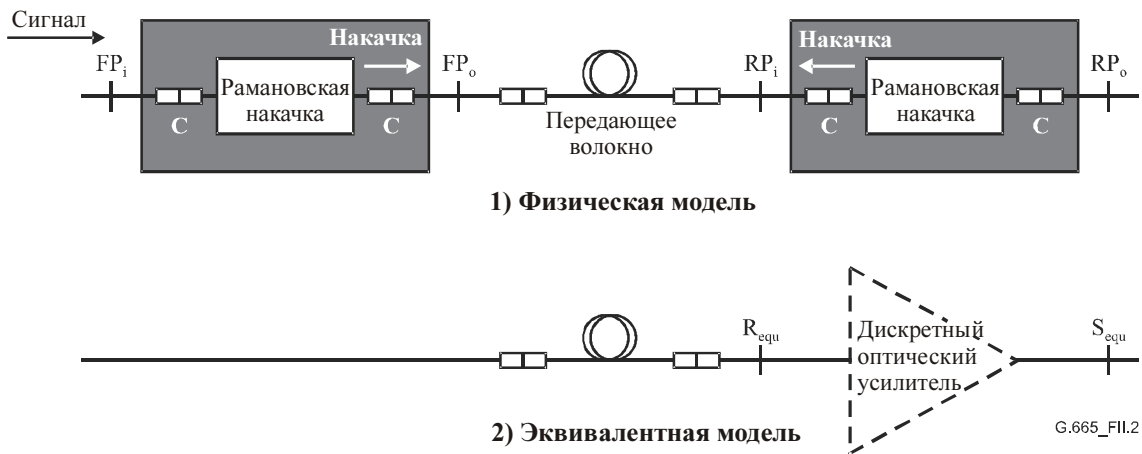
Чтобы получить усиление в распределенных или композитных Рамановских усилителях, используют увеличенную длину передающего оптического волокна. Если доступны параметры, связанные с передающим волокном, такие как спектр усиления SRS, коэффициенты нелинейности и затухания, то анализ характеристик может быть сделан с помощью моделирования. Эти параметры волокна, доступные в условиях исследований, редко бывают доступны в реальных приложениях.

Чтобы упростить вычисление характеристик системы, распределенное усиление можно рассматривать как эквивалентное дискретное, если параметры усиления измеряют на конце передающего волокна. Такое представление также полезно при сравнении Рамановских усилителей с традиционными звеньями связи EDFA.



**Рисунок II.1/G.665 – Распределение мощности вдоль передающего волокна для трех типов распределенных Рамановских усилителей**

Как видно из рис. II.1, для всех типов распределенных Рамановских усилителей мощность сигнала возрастает в точке выхода из передающего волокна, в то время как в точке ввода сигнал не изменяется. С точки зрения характеристик системы, не так важно представлять точное распределение мощности вдоль передающего волокна, как знать величину мощности сигнала и шума в точке выхода из волокна. Поэтому удобно использовать эквивалентную модель дискретного усилителя в точке выхода из волокна, как показано на рис. II.2. Виртуальный усилитель создает такое же эффективное усиление и выходную мощность излучения ASE, что и распределенное усиление. Поскольку излучение ASE, создаваемое в волокне распределенного усилителя, также частично уменьшается, благодаря затуханию этого волокна, выходная мощность ASE может быть меньше, чем физически реализуемая от такого дискретного усилителя. Действительный усилитель расположен в контрольной точке входа, а контрольными точками на выходе являются  $R_{\text{equ}}$  и  $S_{\text{equ}}$ .



**Рисунок П.2/G.665 – Физическая и эквивалентная модели распределенных Рамановских усилителей**

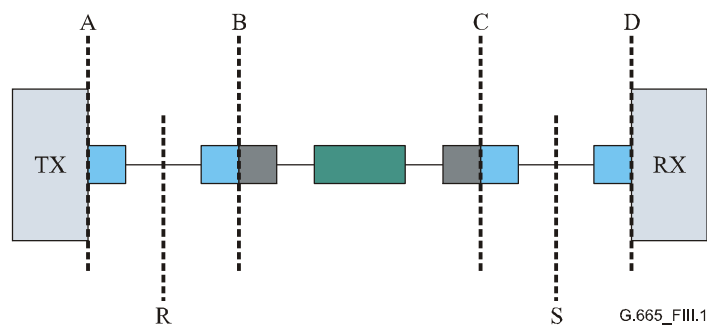
Эквивалентные параметры входа могут быть определены в эквивалентной контрольной точке входа в то время, когда выключена мощность лазера накачки в передающее волокно. В этом состоянии можно измерить эквивалентную входную мощность и отношение OSNR. Выходные параметры можно измерить в эквивалентной контрольной точке выхода в то время, когда источник накачки находится в активном состоянии. В этом состоянии можно измерить эквивалентную выходную мощность и отношение OSNR.

Следуя IEC 61290, эффективный коэффициент шума и усиление в состоянии включено/выключено можно определить, используя эквивалентную входную мощность, отношение OSNR на входе и выходе, а также выходную мощность. Эти конечные значения эффективного коэффициента шума (NF) и усиления в состоянии включено/выключено могут быть использованы для упрощенной оценки системы.

### Дополнение III

#### Анализ потерь от сростков и соединителей

В этом Дополнении описаны различия в соглашениях об интерфейсах между МСЭ-Т и МЭК для оптических звеньев связи и их компонентов. Читателю рекомендуется обратить внимание на результирующие последствия в методическом различии вычисления потерь в соединителях (разъемах) и стыках.

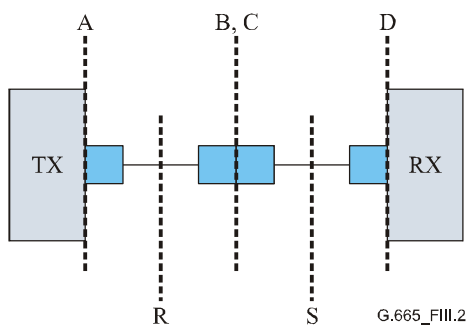


**Рисунок III.1/G.665 – Пример звена связи с альтернативными интерфейсами**

Как правило, системы и приложения Рекомендаций разрабатывают в МСЭ-Т, а процедуры тестирования и измерения, а также спецификации устройств разрабатывают в МЭК. Каждая организация имеет правила для определения интерфейсов и контрольных точек, которые полностью самосогласованны, но приводят к несколько расходящимся результатам.

МСЭ-Т определяет интерфейсы, показанные на рис. III.1 как R и S. Интерфейс слева от R считают передатчиком/источником (TX). Точки между R и S считают звеном связи или участком линии связи, а точки справа от S считают приемником (RX). Действительное расположение контрольной точки может соответствовать или не соответствовать физически доступной точке. Часто такая точка находится внутри волокна, которое следовало бы разрезать, чтобы действительно получить доступ к этому интерфейсу.

МЭК всегда определяет интерфейсы в физических точках таких, как места установки соединителей и сростков. Эти точки показаны на рис. III.1 как A, B, C и D. Потери определяют как потери между этими двумя интерфейсами. Мощность измеряют со звеном связи, как это показано, учитывая звено связи без изображенной секции. Например, чтобы измерить потери пары соединителей и устройства (изображенного как серый ящик) между точками B и C, мощность в приемнике следует измерять с этим устройством, включенным в звено связи. Затем следует измерить эталонную мощность в приемнике с соединителем, присоединенным к точкам B и C, как показано на рис. III.2. Это покажет потери устройства и одной пары соединителей. Присутствие соединителей дано для иллюстрации. В других случаях интерфейсами могут служить точки сростков. Предполагается, что соединители (или оптические сростки) - всегда одного и того же типа и вносят такие же потери, когда в контексте МЭК их попарно соединяют или заменяют.



**Рисунок III.2/G.665 – Эталонная конфигурация для измерения потерь, согласно МЭК**

С точки зрения МСЭ-Т, потери должны определяться между точками R и S, что в результате дает потери устройства и двух пар соединителей. Интерфейс МСЭ-Т никогда не определяют как расположенный посередине соединителя. Поэтому потери участка линии связи по методу МСЭ-Т будут всегда отличаться от потерь, измеренных по методу МЭК на потери в одном стыке или соединителе соответственно. Потери на стыке или на соединителе ясно определены в контексте МСЭ-Т действительными потерями для соединителей между точками интерфейсов. При этом не подразумевают никакой замены соединителей.

Пользователю рекомендуется принимать во внимание это различие при сравнении спецификаций устройств и протоколов испытаний (в публикациях МЭК) с конструкцией звеньев и линий связи (в Рекомендациях МСЭ-Т).



## БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] LEWIS (S.A.E.), CHERNIKOV (S.V.), TAYLOR (J.R.): *Characterization of Double Rayleigh Scatter Noise in Raman Amplifiers*, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 12, pp. 528-530, May 2000.
- [2] CHRIS (R.S.) Fludger, MEARS (Robert J.): *Electrical Measurements of Multi-Path Interference in distributed Raman Amplifiers*, *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 19, No. 4, April 2001.





## 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
<b>Серия G</b>	<b>Системы и среда передачи, цифровые системы и сети</b>
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	TMN и техническое обслуживание сетей: международные системы передачи, телефонные, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных и взаимосвязь открытых систем
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи