

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.650.1

Поправка 1
(10/2012)

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

Характеристики среды передачи и оптических систем –
Волоконно-оптические кабели

Определения и методы тестирования линейных
детерминированных атрибутов одномодового
волокна и кабеля

Поправка 1

Рекомендация МСЭ-Т G.650.1 (2010 г.) – Поправка 1

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

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

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

Рекомендация МСЭ-Т G.650.1

Определения и методы тестирования линейных детерминированных атрибутов одномодового волокна и кабеля

Поправка 1

Резюме

Поправка 1 к Рекомендации МСЭ-Т G.650.1 (2010 г.) предназначена для обеспечения процедур измерения многолучевой интерференции (MPI) когерентных волн в коротких волоконно-оптических кабелях (перемычках). Улучшение показателя потерь на изгибе в одномодовом волокне не только влияет на основную моду, но и может влиять на моды более высокого порядка. Это может изменить механизм длины волны отсечки. В этом случае можно изучить работоспособность оптического волокна в одномодовом режиме путем оценки характеристик MPI.

В Дополнении IV вводятся три вида методов испытаний:

- метод ECL/PM (используется лазер с внешним резонатором/измеритель мощности);
- метод LED/OSA (используется светодиод/оптический анализатор спектра);
- метод FS (растяжение волокна).

В конце п. 3.6.1 добавлено новое примечание, в котором содержится ссылка на MPI, и добавлено Дополнение IV.

Хронологическая справка

| Издание | Рекомендация | Утверждение | Исследовательская комиссия |
|---------|---------------------------------|---------------|----------------------------|
| 1.0 | МСЭ-Т G.650 | 12.03.1993 г. | XV |
| 2.0 | МСЭ-Т G.650 | 08.04.1997 г. | 15-я |
| 3.0 | МСЭ-Т G.650 | 06.10.2000 г. | 15-я |
| 4.0 | МСЭ-Т G.650.1 | 29.06.2002 г. | 15-я |
| 4.0 | МСЭ-Т G.650.2 | 29.06.2002 г. | 15-я |
| 4.1 | МСЭ-Т G.650.1 (2002 г.) Попр. 1 | 16.03.2003 г. | 15-я |
| 4.1 | МСЭ-Т G.650.2 (2002 г.) Попр. 1 | 16.03.2003 г. | 15-я |
| 5.0 | МСЭ-Т G.650.1 | 13.06.2004 г. | 15-я |
| 5.0 | МСЭ-Т G.650.2 | 13.01.2005 г. | 15-я |
| 6.0 | МСЭ-Т G.650.2 | 29.07.2007 г. | 15-я |
| 6.0 | МСЭ-Т G.650.1 | 29.07.2010 г. | 15-я |
| 6.1 | МСЭ-Т G.650.1 (2010 г.) Попр. 1 | 29.10.2012 г. | 15-я |

ПРЕДИСЛОВИЕ

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

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

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

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

ПРИМЕЧАНИЕ

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

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

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

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

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2018

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.

Рекомендация МСЭ-Т G.650.1

Определения и методы тестирования линейных детерминированных атрибутов одномодового волокна и кабеля

Поправка 1

1) Сокращения и акронимы

Добавить следующие сокращения в раздел 4.

| | | |
|-------|------------------------------------|---------------------------------|
| EELED | Edge Emitting Light Emitting Diode | Светодиод с торцевым излучением |
| FS | Fibre Stretching | Растяжение волокна |
| FSR | Free Spectral Range | Область дисперсии |
| MPI | Multi-Path Interference | Многолучевая интерференция |
| OSA | Optical Spectrum Analyser | Оптический анализатор спектра |
| PM | Power Meter | Измеритель мощности |
| SSMF | Standard Single Mode Fibre | Стандартное одномодовое волокно |

2) Примечание к п. 3.6.1

Добавить следующий текст в конце п. 3.6.1.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Работоспособность в одномодовом режиме короткого (как правило, менее 10 м) оптического волокна может быть дополнительно изучена путем оценки MPI. Общая информация о MPI приведена в п. 6.1 [b-ITU-T G.Sup.47], а методы тестирования MPI когерентных волн описаны в Дополнении IV к настоящей Рекомендации.

3) Дополнение IV

Добавить нижеприведенное Дополнение IV.

Дополнение IV

Методы тестирования для измерения MPI когерентных волн в коротких волоконно-оптических кабелях (перемычках)

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Измерение MPI когерентных волн выполняется для того, чтобы убедиться в низком уровне шума, вносимого коротким (обычно < 10 м) уложенным в кабеле оптическим волокном. Такое тестирование в особенности важно для волокон [ITU-T G.657], так как они представляют широкий диапазон различных характеристик передачи мод высшего порядка (НОМ) и имеют тенденцию жестко привязывать эти моды к сердцевине волокна (сложно осуществить фильтрацию мод). Значения MPI измеряются как функция длины волны, при этом особое внимание уделяется самым коротким длинам волн, которые будут использоваться в этом кабеле. Результатом является функция как длины образца кабеля, так и потерь в ссостке (соединителе) на концах кабеля. Таким образом, эти параметры должны быть количественно определены и указаны производителем. Следующей переменной является геометрическое расположение кабеля. Прямолинейное расположение обычно создает наивысшую MPI, хотя могут появляться "резонансные длины волн" в случае сильного затухания НОМ и очень

низкой MPI. Предпочтительны более реалистические варианты расположения, и они обеспечиваются благодаря использованию контролируемого изгиба кабеля.

Существует три метода измерения MPI. Первый "узкополосный метод ECL/PM" предусматривает использование лазера с внешним резонатором (ECL) и измерителя мощности (PM), и этот метод обеспечивает достаточно высокую точность, но может требовать значительного времени и быть ограниченным диапазоном длины волн. Второй "широкополосный метод LED/OSA" предусматривает использование широкополосного источника (например, светодиод с торцевым излучением, EELED) и оптического анализатора спектра (OSA). Этот метод характеризуется, как правило, более высоким минимальным уровнем шума, но позволяет проводить измерения MPI по всей полосе передачи волокна. Третий метод предусматривает использование источника света с фиксированной длиной волны, такой как в реальном передатчике, и изменение длины перемычки путем растяжения волокна. Он называется методом "растяжения волокна" или методом "FS". Этот метод обладает следующими преимуществами:

- 1) недорогие источники света;
- 2) возможность определить MPI, используя реальные приемопередатчики в схеме тестирования системы; и
- 3) отсутствие зависимости от длины побочных волн в тестовой установке.

К недостаткам относится более сложная установка и невозможность проводить измерения на кабеле в непрямолинейных конфигурациях, при натяжении.

IV.1 Первый метод тестирования: узкополосный метод ECL/PM

IV.1.1 Общее

При узкополосном методе ECL/PM выполняется мониторинг оптической мощности, передаваемой через перемычку, как функции длины волны. Интерференция между основной модой LP₀₁ и НОМ измеряется путем сбора максимальных и минимальных значений передаваемой мощности в диапазоне длин волн. Для того чтобы обеспечить обнаружение истинных экстремумов мощности, используется изменение поляризации входного сигнала.

IV.1.2 Аппаратура для тестирования

Схема оборудования, необходимого для первого метода тестирования, показана на рисунке IV.1.

IV.1.2.1 Оптический источник

Настраиваемый лазер с внешним резонатором (ECL) используется с рекомендованными характеристиками: ширина спектральной линии < 200 кГц, мощность > -4 дБм на самых коротких из рассматриваемых волн (обычно 1260 нм) и широкий диапазон настройки (~100 нм). Стабильность мощности должна составлять < 0,01 дБ в течение периода тестирования, а ее изменения должны быть < 0,05 дБ в диапазоне длин волн, требуемом для проведения выборки области дисперсии (FSR) интерферограммы перемычки (обычно ~2 нм). RIN лазера должен быть меньше -145 дБм/Гц в диапазоне 10–500 МГц. Целесообразно измерять MPI лазера ECL в изолированном состоянии, и типовые значения составляют < -55 дБ. Выход должен осуществляться через стандартное одномодовое волокно (тип МСЭ-Т G.652, далее называемый "SSMF") с угловым соединителем.

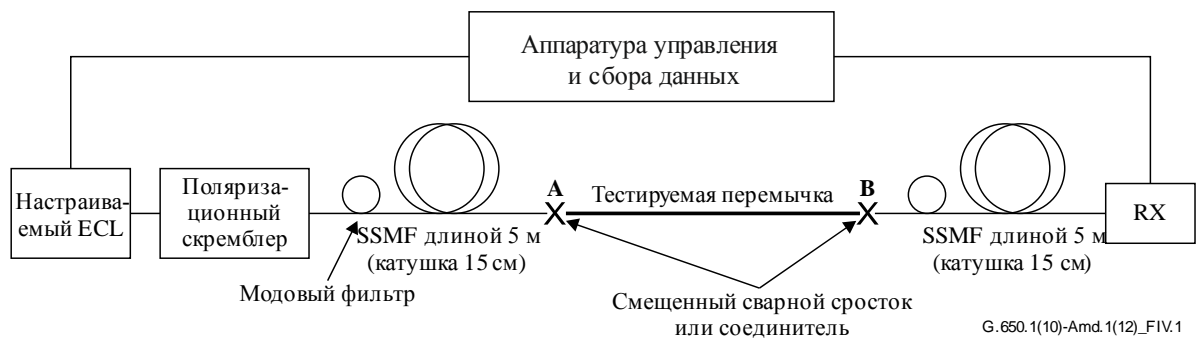


Рисунок IV.1 – Схема установки для узкополосного метода ECL/PM. Здесь приемником "RX" является измеритель мощности или пара фотодетектор/осциллограф
SSMF – стандартное одномодовое волокно МСЭ-Т G.652

IV.1.2.2 Поляризационный скремблер

В силу того, что связь в точках соединения будет зависеть от поляризации, измерения мощности должны выполняться при большом числе произвольных состояний поляризации входящего света. Поляризация может быть изменена с помощью контроллера поляризации (ручного или электронного) или скремблера. В случае применения контроллера следует использовать не менее 100 случайных состояний поляризации для каждой длины волны, при которой проводятся измерения (вследствие этого применение ручного контроллера не рекомендуется). Использование скремблера требует знания скорости скремблирования (изменение в град/с на сфере Пуанкаре или высокочастотная составляющая в устройстве скремблирования). Измерение мощности должно проводиться по шкале времени, короткой по сравнению с временем, требуемым для значительного изменения поляризации. Для получения показаний измерителям мощности требуется обычно ~0,1–20 мкс. Следовательно, частоты скремблирования должны быть ниже диапазона 1–0,005 кГц в зависимости от выбранного для измерителя мощности времени усреднения. В случае использования в качестве приемника фотодетектора/OSA (см. п. IV.1.2.4 ниже) скорость скремблирования практически не ограничена. Поляризационный скремблер должен иметь угловые соединения. Для определения MPI полезно тестировать комбинацию ECL–скремблер. Типовые результаты: < -50 дБ. Проверяют получение произвольно распределенных состояний поляризации на сфере Пуанкаре.

IV.1.2.3 Петля фильтрации мод

Одномодовое волокно в линии ввода излучения должно быть согнуто в виде петли соответствующего размера для устранения распространения всех мод, кроме основной моды LP₀₁. Альтернативой является использование длинного (несколько сотен метров) отрезка SSMF для обеспечения достаточного затухания НОМ.

IV.1.2.4 Оптический приемник

Свет должен принимать измеритель мощности или комбинация фотодетектор/осциллограф. Время усреднения измерителя мощности должно быть отрегулировано так, чтобы измерения мощности производились быстро в сравнении с временем, в течение которого поляризационный скремблер существенно изменяет поляризацию. Следует обеспечить линейность измерителя мощности на уровнях мощности, используемых в процессе тестирования. Характеристику измерителя мощности следует корректировать для различных длин волн, используемых в процессе тестирования. Для получения статистических данных мощности встроенное программное обеспечение может разрешать работу измерителя мощности в режиме МИН-МАКС или в режиме регистрации мощности (LOGGING). На каждой длине волны сбор данных осуществляется, до тех пор пока не будет собрано > 100 измеренных значений мощности.

Комбинация фотодетектор/осциллограф позволяет использовать очень высокие скорости скремблирования (тем самым сокращая время тестирования). Следует работать с очень высокой оптической мощностью, для того чтобы минимизировать шум приемника (однако необходимо проверять линейность детектора на этих уровнях мощности). Для максимального захвата сигнала используют вертикальное смещение осциллограммы и растягивают вертикальную шкалу. Усреднение не проводится. Устанавливают скорость сбора выборок в соответствии со скоростью скремблирования поляризации и увеличивают до максимума число выборок (длину записи). Развертку устанавливают так, чтобы собирать

все данные за один запуск и определять максимальное и минимальное значения напряжения, либо проводят несколько запусков с более быстрой разверткой и собирают экстремумы напряжения в течение последовательности запусков. Сбор данных осциллографа следует запускать синхронно с шагами изменения длины волны ECL.

IV.1.3 Процедура измерений

IV.1.3.1 Подготовка тестируемого волокна

Если тестируемый короткий кабель (волокно) имеет соединители, обеспечивают выполнение надлежащих процедур очистки. Выбирают длину кабеля для тестирования и надевают соединители на концы либо подготавливают концы для сращивания сплавлением.

IV.1.3.2 Базовые измерения

На этом шаге определяется наименьшая MPI, которую может измерить тестовая установка. Кроме того, полученная здесь средняя передаваемая мощность полезна при исключении изменений уровня мощности источника света с изменением длины волны, как предписано в п. IV.1.3.5.

До ввода тестируемого кабеля в измерительную установку измеряют базовую характеристику, соединив поляризационный скремблер и RX на рисунке IV.1 с помощью либо SSMF длиной 10 м или двух SSMF длиной 5 м с соединителями на концах. На обоих концах SSMF следует использовать угловые соединители. Перестраивают длину волны (в диапазоне примерно ± 3 нм) с достаточно малым шагом, для того чтобы устранить интерференционные полосы, ожидаемые в тестируемом кабеле (может потребоваться итерация или использование малого шага в 0,02 нм). Для каждой длины волны ведут сбор минимального, максимального и среднего значений мощности на основании >100 случайных значений поляризации. Используют достаточно широкое переключение длины волны, для того чтобы получить область дисперсии (FSR) интерферограммы переемычки. Учитывая, что до измерения переемычки FSR не известна, может потребоваться повторное базовое измерение после выполнения измерений переемычки.

IV.1.3.3 Вставка волокна в короткий кабеле

Отсоединяют два пятиметровых волокна SSMF либо разрезают SSMF в центре и вставляют тестируемый кабель в установку (между точками А и В на рисунке IV.1), после чего определяют характеристики потерь в срезке/соединителе на каждом конце. Удобным способом получения желаемого уровня потерь в соединении является намеренное смещение сварных срезков. В качестве альтернативы можно использовать смещенные соединители. Если значения MFD волокна SSMF и тестового волокна составляют $9,0 \pm 0,5$ мкм при длине волны 1310 нм, смещение на 1–2 мкм соответствует потерям в соединении величиной 0,5–1 дБ (эти потери следует измерять напрямую). Для обеих точек соединения желательно, чтобы коэффициент связи мощности LP_{01} в пятиметровом SSMF приводил к мощности LP_{01} в тестируемом кабеле. Может потребоваться использование модовых фильтров, а также простого подбора для устранения мод высшего порядка (более подробно см. в следующем ниже примечании). Геометрическое расположение тестируемого кабеля может быть преимущественно прямолинейным, так как это конфигурация, которая как правило, будет давать результаты худшего случая MPI. Могут также тестироваться другие, более предпочтительные конфигурации, содержащие большое число изгибов кабеля малых радиусов.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Смысл значения MPI, полученного в результате данного измерения, неясен без точного знания потерь LP_{01} в каждой точке соединения. Для определения этих потерь требуется фильтрация мод высшего порядка. Далее приведены некоторые дополнительные замечания о фильтрации мод в волокнах МСЭ-Т G.657. В некоторых волокнах МСЭ-Т G.657.А фильтрация мод может быть выполнена путем использования достаточно небольшой петли волокна (эта петля не должна быть такой малой, чтобы вызывать затухание моды LP_{01}). Если это случай тестируемого волокна, то первое соединение выполняется при мониторинге мощности, проходящей через переемычку, и при наличии петли фильтрации мод. После того, как первое соединение становится удовлетворительным, выполняется второе соединение, опять с использованием петель фильтрации мод и мониторингом мощности через переемычку в виде пятиметрового SSMF, и так до тех пор, пока величина общих потерь (через оба срезка) не станет удовлетворительными.

В некоторых волокнах МСЭ-Т G.657.А и во всех волокнах МСЭ-Т G.657.В фильтрация мод с помощью петель волокон невозможна. Однако эти кабели характеризуются, как правило, значительными потерями НОМ при значительной длине волокна (особенно в случае прямолинейного расположения). Для некоторых типов волокон длина, требуемая для фильтрации НОМ, может составлять несколько

сотен метров. В этом случае первое соединение со смещением выполняется между пятиметровым волокном SSMF и катушкой желательного волокна-перемычки. При учете потерь LP_{01} в катушке (могут быть измерены отдельно с использованием сростка, настроенного на возбуждающее волокно SSMF) выполняется настройка смещенного соединения до получения желательного значения потерь LP_{01} . Намотанное на катушку тестовое волокно урезается до желательной длины перемычки и сращивается соединителем или сплавлением с выходом пятиметрового SSMF. Для определения потерь в этой второй точке соединения выполняется контроль мощности в RX и сравнение ее с входной мощностью LP_{01} минус потери LP_{01} первого соединения.

В любом случае данные о потере LP_{01} должны браться по FSR ($\sim \pm 3$ нм) интерферограммы перемычки. Среднее значение по этому диапазону волн является потерей в соединении. Для обеспечения согласованности важно уравнивать потери в сростке на каждом конце тестируемого кабеля. Это объясняется тем, что при фиксированных общих потерях в сростках максимальная MPI определяется, когда потери отдельных сростков равны.

IV.1.3.4 Измерения на волокне в коротком кабеле

Выполняется процедура, описанная в п. IV.1.3.2. После ввода тестируемой перемычки следует убедиться, что диапазон изменения длины волны достаточен для охвата нескольких циклов приблизительно синусоидального изменения передаваемой мощности (FSR). Кроме того, следует убедиться, что шаг изменения длины волны достаточно мал для устранения распределения спектральной интенсивности.

IV.1.3.5 Расчет

Необязательно, хотя и полезно, сначала вычесть базовую среднюю мощность из минимальной и максимальной мощности, измеренной в тестируемом кабеле. Это внесет поправку на изменение мощности при изменении длины волны источника света. Для расчета MPI данные (скорректированные максимальные и минимальные значения передаваемой мощности в соответствии с длиной волны) обрабатываются с применением движущегося окна шириной \geq FSR. Для каждого положения окна (обозначаемого его центральной длиной волны) определяются значения максимальной и минимальной мощности, которые используются в уравнении (IV-1) для определения MPI.

$$MPI(dB) = 20 \log \left[\frac{10^{PR/20} - 1}{10^{PR/20} + 1} \right], \quad (IV-1)$$

где PR – разница между найденными максимальными и минимальными уровнями мощности (в дБ). Следует заметить, что если используется метод с применением фотодетектора/осциллографа, выходными данными является электрическое напряжение, а не оптическая мощность. Вследствие линейности фотодетектора уравнение (IV-1) может использоваться по-прежнему с разницей напряжения, если напряжение конвертировано в дБ ($10 \log V$). До этой конвертации следует провести коррекцию темнового тока. Следует убедиться, что рассчитанная по базовым данным MPI достаточно мала.

IV.1.3.6 Представление результатов

- a) Схема испытательной установки.
- b) Характеристики оптического источника.
- c) Показатель поляризационного скремблирования.
- d) Идентификация волокна (уложенного в кабель или свободного), длина, потери ввода и потери сращивания.
- e) Методика измерения потерь ввода/потерь сращивания.
- f) Геометрическое расположение тестируемого кабеля.
- g) Характеристики приемника (включая время обнаружения сигнала).
- h) Таблица значений MPI в зависимости от длины волны.
- i) После получения данных для ряда волокон конкретной конструкции может быть составлена таблица соответствия длины волны отсечки и шума MPI.

IV.2 Второй метод тестирования: широкополосный метод LED/OSA

IV.2.1 Общее

При широкополосном методе с применением LED/OSA выполняется мониторинг оптической мощности, передаваемой через тестируемую перемычку, как функции длины волны. Интерференции между основной модой LP_{01} и НОМ измеряется путем сбора максимальных и минимальных значений передаваемой мощности в диапазоне длин волн. Для того чтобы обеспечить обнаружение истинных экстремумов мощности, используется изменение поляризации входного сигнала.

IV.2.2 Аппаратура для тестирования

Схема оборудования, необходимого для второго метода тестирования, показана на рисунке IV.2.

IV.2.2.1 Оптический источник

Широкополосный источник света (обычно на основе светодиода) с пиковым значением плотности мощности > -40 дБм/нм и стабильностью $< \pm 0,03$ дБ/15 минут и с выходом в рассматриваемом диапазоне длин волн (обычно 1260–1625 нм). Следует отметить, что стабильность этого источника не будет столь высокой, как стабильность ECL, используемого в первом методе тестирования. Это ограничивает наименьшую MPI, которая может быть измерена. Целесообразно измерять MPI широкополосного источника в изолированном состоянии, и типовые значения составляют < -40 дБ по всей полосе спектра. Выход должен осуществляться через SSMF. По мере доступности следует использовать угловые соединители.

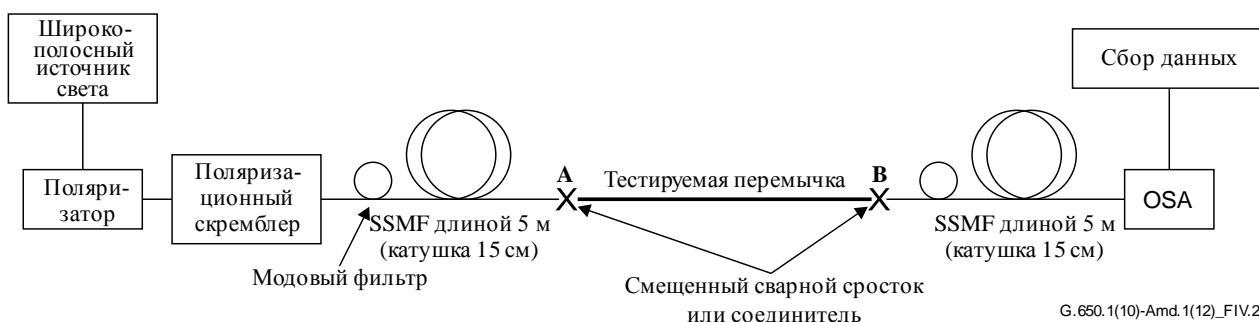


Рисунок IV.2 – Схема установки для широкополосного метода с применением LED/OSA. Поляризатор необязателен, если широкополосный источник света имеет внутренний поляризатор

IV.2.2.2 Поляризационный скремблер

В силу того, что связь в точках соединения будет зависеть от поляризации, измерения плотности мощности OSA должны выполняться при большом числе произвольных состояний поляризации входящего света. Поляризация может изменяться с помощью контроллера поляризации (ручного или электронного) или скремблера. В случае применения контроллера следует использовать не менее 100 случайных состояний поляризации для каждой длины волны, при которой проводятся измерения (вследствие этого применение ручного контроллера не рекомендуется). Использование скремблера требует знания скорости скремблирования (изменение в град/с на сфере Пуанкаре или высокочастотная составляющая в устройстве скремблирования). Измерение плотности мощности OSA при каждой длине волны должно проводиться по шкале времени, короткой по сравнению с временем, требуемым для значительного изменения поляризации. Регулирование числа длин волн тестирования, скорость перестройки длины волны и чувствительности дают пользователю возможность изменять время сбора данных OSA, с тем чтобы соответствовать скорости поляризационного скремблера. Следует заметить, что возможны только низкие скорости скремблирования. Поляризационный скремблер должен иметь угловые соединения. Для определения MPI полезно тестировать комбинацию LED–скремблер. Проверяют получение произвольно распределенных состояний поляризации на сфере Пуанкаре.

IV.2.2.3 Петля фильтрации мод

См. п. IV.1.2.3.

IV.2.2.4 Оптический приемник

В конфигурации OSA должно быть предусмотрено корректное число точек изменения длины волны и время перестройки длины волны, так чтобы время нахождения на каждой длине волны было значительно меньше (примерно в 10 раз), чем обратная величина скорости поляризационного скремблирования. Это предупреждает усреднение поляризации в течение измерения OSA на каждой длине волны. Для обеспечения максимального сигнала выбирают вертикальную шкалу. Измерения проводятся с использованием функций отслеживания максимальной и минимальной плотности мощности в OSA (если имеются). Разрешение по полосе пропускания должно составлять 0,1 нм или менее, а число точек изменения длины волны должно быть достаточным для устранения интерференционных полос в FSR.

IV.2.3 Процедура измерений

IV.2.3.1 Подготовка тестируемого волокна

См. п. IV.1.3.1.

IV.2.3.2 Базовые измерения

До ввода тестируемого кабеля в измерительную установку измеряют базовую характеристику, соединив поляризационный скремблер и OSA на рисунке IV.2, используя SSMF длиной 10 м. Сконфигурировав OSA с корректным числом длин волн, скоростью перестройки длины волны, разрешением по полосе пропускания и вертикальной шкалой, применяют усреднение и измеряют базовую характеристику. Если желательно получить базисные данные MPI, то возможно измерять также максимумы и минимумы. Усредненный след сохраняют для последующего использования при удалении спектральной зависимости мощности на выходе источника LED.

IV.2.3.3 Вставка волокна в коротком кабеле

См. п. IV.1.3.3.

IV.2.3.4 Измерения на волокне в коротком кабеле

Процедура в случае применения OSA, имеющего возможности отслеживания максимальной и минимальной мощности. – Переводят OSA в режим отслеживания максимумов. Проводят > 100 переключений длины волны, для того чтобы получить наивысший сигнал на каждой длине волны относительно входной поляризации. Сохраняют этот след и выполняют тот же тест в режиме отслеживания минимумов (некоторые модели OSA могут выполнять сбор таких данных одновременно). Вычитают базовый след, определенный на этапе п. IV.2.3.2, из результирующего следа максимумов и результирующего следа минимумов. Получают эти два результирующих следа.

Процедура в случае применения OSA, не выполняющего внутренней манипуляции с данными максимальной и минимальной мощности. – Проводят > 100 переключений длины волны и направляют выходные данные после каждого из них в управляющий компьютер. Используют компьютер для сортировки максимальных и минимальных значений для каждой длины волны. Базовая кривая может быть либо вычтена в OSA либо во время сортировки данных в компьютере.

IV.2.3.5 Расчет

См. п. IV.1.3.5.

IV.2.3.6 Представление результатов

См. п. IV.1.3.6.

IV.3 Третий метод тестирования: метод растяжения волокна

IV.3.1 Общее

Метод растяжения волокна основан на том, что передаваемая мощность, с интерференцией между модой LP₀₁ и НОМ в перемычке, периодически изменяется при сдвиге оптической фазы в перемычке. Этот сдвиг оптической фазы зависит от длины волны (которая использовалась в двух других методах), но также пропорциональна длине перемычки. Наиболее просто изменять длину путем растяжения волокна. В этом случае максимальная и минимальная передаваемая мощность измеряется при изменении длины

волокна. Для того чтобы обеспечить обнаружение истинных экстремумов мощности, используется изменение поляризации входного сигнала. Для типовых волокон, FSR которых составляет 2 нм, требуемое изменение длины должно быть порядка 2–4 мм; в случае соединительного оптоволоконного кабеля длиной 2 метра это соответствует натяжению $\sim 10^{-3}$, что значительно ниже уровней предела прочности. Для волокон с большей FSR может потребоваться большее натяжение. Этот метод легко применим в случаях, когда перемычка имеет буферное покрытие и/или оболочку.

IV.3.2 Аппаратура для тестирования

Схема оборудования, необходимого для третьего метода тестирования, показана на рисунке IV.3. Источником может быть либо настраиваемый лазер либо приемопередатчик. Изменение поляризации осуществляет поляризационный скремблер. Повсеместно используются угловые соединители для сведения к минимуму отражения. Сварной сросток в восходящем направлении прикрепляется к фиксированному столу перемещения, в другой сварной сросток прикрепляется к подвижному столу перемещения.

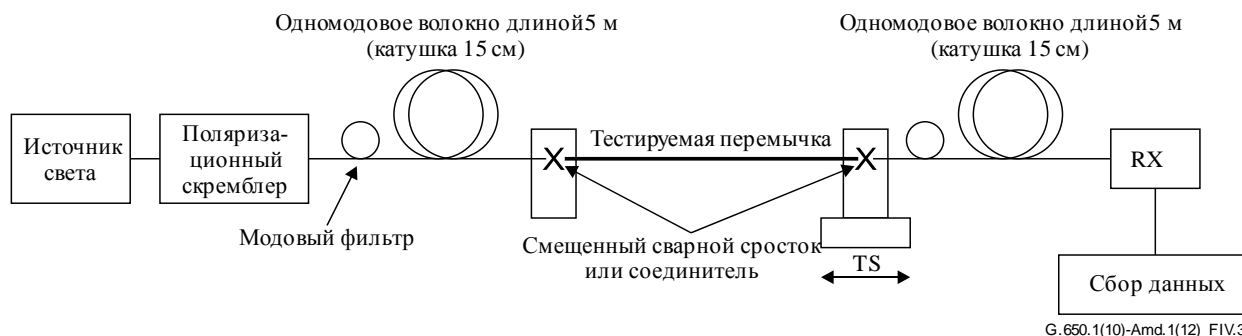


Рисунок IV.3 – Схема установки для метода растяжения волокна. "TS" – стол перемещения. Здесь приемником "RX" является измеритель мощности или пара фотодетектор/осциллограф

IV.3.2.1 Оптический источник

Если используется настраиваемый лазер, эксплуатационные характеристики лазера должны соответствовать спецификациям, приведенным в п. IV.1.2.1. В качестве альтернативы может использоваться оптический приемопередатчик. В любом случае следует убедиться, что длина волны и мощность на выходе стабильны в течение нескольких минут, необходимых для проведения тестирования. Если возможен выбор оптического приемопередатчика, сравнимого с используемым в реальной развернутой системе, результаты MPI будут весьма актуальны.

Если используется приемопередатчик (например, DFB) с оптическими свойствами, эквивалентными свойствам настраиваемого лазера, которые описаны в п. IV.1.2.1, результаты будут по существу независимыми от источника, в противном случае (например, используется приемопередатчик Фабри-Перо), результаты могут зависеть от свойств приемопередатчика.

IV.3.2.2 Настройки измерения

IV.3.2.2.1 Поляризационный скремблер

Для того чтобы обеспечить достижение условий худшего случая, измерения передаваемой мощности должны выполняться при большом числе произвольных состояний поляризации входящего света. Поляризация может быть изменена с помощью контроллера поляризации (ручного или электронного) или скремблера, предпочтительно с угловыми соединителями. Использование скремблера требует знания скорости скремблирования (изменение в град/с на сфере Пуанкаре или высокочастотная составляющая в устройстве скремблирования). Скорость скремблирования должна быть достаточно низкой для гарантии того, что измеритель мощности завершает каждое измерение до существенного изменения поляризации. Другими словами, время, затрачиваемое скремблером для создания значительного изменения поляризации, должно быть больше времени интегрирования измерителя мощности, с тем чтобы избежать уравнивания изменений мощности, вносимых скремблированием поляризации, с временем интегрирования измерителя мощности. Таким образом, если время интегрирования измерителя мощности составляет 100 мс, то следует использовать частоту скремблирования 5 Гц, – это значит, что существенное изменение поляризации происходит через 200 мс.

IV.3.2.2.2 Стол поступательного перемещения

Длина стола поступательного перемещения должна быть установлена после определения периода биения мод, что следует выполнять при отключенном скремблировании поляризации. Длина поступательного перемещения должна выбираться между нижним пределом, обусловливаемым периодичностью биения мод (рекомендуется два периода), и верхним пределом, отвечающим соответствующему натяжению волокна. В случае двухметрового образца кабеля нижний предел длины поступательного перемещения составит ~2 мм, а верхний предел составит ~20 мм. Скорость, обеспечиваемая столом поступательного перемещения, должна быть достаточно низкой для гарантии того, что время, затрачиваемое на полный цикл пика/спада, значительно больше времени интегрирования измерителя мощности, с тем чтобы избежать уравнивания качания мощности, вносимого изменением длины волокна, с временем интегрирования измерителя мощности. Например, при скорости перемещения 0,2 мм/с цикл пика/спада в 1 мм будет завершен за 5 с, что значительно больше времени интегрирования измерителя мощности, которое составляет 100 мс.

IV.3.2.2.3 Частота выборки

Установив время интегрирования измерителя мощности, скорость скремблирования, скорость стола поступательного перемещения и его размах в соответствии с критериями, представленными в двух предыдущих пунктах, следует принять решение о частоте сбора данных измерителя мощности. Частота выборки должна быть достаточной высокой, для того чтобы гарантировать четкую идентификацию цикла пика/спада, определяемого растяжением волокна, при этом число точек сбора для каждого периода колебаний должно быть не менее 25. Однако временной интервал между двумя последовательными сборами данных должен быть больше времени интегрирования измерителя мощности в целях обеспечения того, что они соответствуют действительно разным состояниям интерференции и поляризации. Конкретно, сбор данных каждые 200 мс будет совместим со значениями параметров, приведенными в качестве примеров в предыдущих пунктах а)–б).

IV.3.2.2.4 Число измерений

Надежная оценка MPI может быть получена только при условии сбора достаточно большого числа показаний измерителя мощности, соответствующих иному состоянию поляризации вводимого света и разности фаз с режимом совместного распространения. С предложенными значениями параметров длина поступательного перемещения 4 мм, соответствующая четырем периодам биения, обеспечит 100 показаний измерителя мощности, на что потребуется 20 секунд. Для оценки достоверности результирующего значения MPI это измерение следует повторить не менее 20 раз, так чтобы за 400 с можно было вычислить 20 разных значений MPI, собрав в общей сложности 2000 показаний измерителя мощности, соответствующих другому состоянию поляризации вводимого света и другой модовой фазе. Среднее значение и среднее отклонение собранных значений MPI обеспечивают полное статистическое описание ожидаемого ухудшения.

IV.3.2.2.5 Использование ручного поляризационного скремблера

Если используется ручной скремблер, в качестве предварительного шага необходимо протестировать комбинацию источник света – скремблер, для того чтобы проверить получение произвольно распределенных состояний поляризации на всей сфере Пуанкаре. В этом случае, вместо непрерывного скремблирования поляризации в процессе растяжения волокна, проще может быть изменять поляризацию после каждой операции перемещения. Предположив, что за каждую такую операцию производится 100 сборов показаний измерителя мощности и что выполняется 20 операций с 20 разными состояниями поляризации, MPI может быть рассчитана по в общей сложности 2000 показаниям измерителя мощности.

IV.3.2.3 Петля фильтрации мод

См. п. IV.1.2.3.

IV.3.2.4 Оптический приемник

См. п. IV.1.2.4.

IV.3.3 Процедура измерений

IV.3.3.1 Подготовка тестируемого волокна

В этом методе тестирования используется свободное волокно-перемычка со смещенными сварными сростками на концах. Номинальная длина волокна составляет 2 м, а потери в сростке должны быть описаны отдельно (см. п. IV.1.3.3).

IV.3.3.2 Базовые измерения

До ввода тестируемого волокна в измерительную установку измеряют базовую характеристику, соединив поляризационный скремблер и RX на рисунке IV.3 с помощью либо SSMF длиной 10 м и растянув его на 2 м, не оказывая при этом влияния на потери в сростке/соединителе.

IV.3.3.3 Вставка тестируемого образца короткого волокна

Тестируемое волокно может быть прикреплено к столу перемещения с помощью бумажной ленты. Рекомендуется, чтобы волокно было прямым, лента перекрывала по ~10 см волокна с каждой стороны сварного сростка (покрытие сростка для защиты). Длина волокна между столами составляет обычно ~2 м при слабом натяжении (прямое).

IV.3.3.4 Измерения на волокне в коротком кабеле

При активном источнике света и поляризационном скремблере стол перемещения передвигается с малыми шагами приращения. При каждом перемещении регистрируется передаваемая мощность и положение стола. Движение стола должно быть достаточным для того, чтобы в конечном счете исследовать две FSR тестируемого волокна (передаваемая мощность при изменении длины волокна проходит через два минимума и максимума). В этой точке изменяется на обратное направление движения стола и далее выполняется сбор данных. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет сделано достаточно выборок состояний поляризации (~100) при каждой длине волокна. При желании можно медленно изменять также длину волны источника света.

IV.3.3.5 Расчет

Находят MPI путем определения максимальной и минимальной передаваемой через образец мощности по всем длинам растяжения волокна и состояниям поляризации; далее используют уравнение:

$$MPI(\text{дБ}) = 20 \log \left[\frac{10^{PR/20} - 1}{10^{PR/20} + 1} \right], \quad (\text{IV-1})$$

где PR – разница между найденными максимальными и минимальными уровнями мощности (в дБ). Следует заметить, что если используется метод с применением фотодетектора/осциллографа, выходными данными является электрическое напряжение, а не оптическая мощность. Вследствие линейности фотодетектора уравнение (IV-1) может использоваться по-прежнему с разницей напряжения, если напряжение конвертировано в дБ ($10 \log V$). До этой конвертации следует провести коррекцию темнового тока. Следует убедиться, что рассчитанная по базовым данным MPI достаточно мала.

IV.3.3.6 Представление результатов

См. п. IV.1.3.6.

4) Библиография

Добавить нижеследующую запись в раздел "Библиография":

[b-ITU-T G.Sup.47] ITU-T G-series Recommendations – Supplement 47 (2012), *General aspects of optical fibre and cable*.

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

- Серия А Организация работы МСЭ-Т
- Серия D Принципы тарификации и учета и экономические и стратегические вопросы международной электросвязи/ИКТ
- 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 Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
- Серия Q Коммутация и сигнализация, а также соответствующие измерения и испытания
- 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 межсетевого протокола, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города
- Серия Z Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи