

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Телекоммуникационные сети и системы»

Специальность: 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

к.т.н., профессор Байкенов А.С.
(ученая степень, звание, ФИО)

(подпись)

« _____ » _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

на тему: «Исследование пассивных оптических систем мониторинга»

Магистрант: Лиханов К. В.
(Ф.И.О.)


(подпись)

группа МРЭТн 17-2

Руководитель: к.т.н., профессор
(ученая степень, звание)


(подпись)

Байкенов А. С.
(Ф.И.О.)

Рецензент: к.ф- м.н доцент
(ученая степень, звание)



(подпись) Хачикян В. С.
(Ф.И.О.)

Консультант по ВТ к.т.н., профессор
(ученая степень, звание)


(подпись)

Байкенов А. С.
(Ф.И.О.)

Нормоконтроль:

 ст. пр-ль Дегагаров Д.
(ученая степень, звание) (подпись)

Дегагаров Д.
(Ф.И.О.)

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Институт Космической техники и телекоммуникаций

Специальность: 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Кафедра: «Телекоммуникационных систем и сетей»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Лиханову К.В. _____

(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Исследование пассивных оптических систем мониторинга»

утверждена Ученым советом университета № от « »

Срок сдачи законченной диссертации « » _____

Цель исследования состоит в экспериментальном исследовании пассивных оптических систем мониторинга.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Исследование оптических систем мониторинга. Оптические сети
2. Методы множественного доступа PON
3. Проведение экспериментов с эталонными моделями TDM, WDM и TWDM, для внедрения системы мониторинга OTDR

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Рисунок 3.1 - Схема мониторинга.

Рисунок 3.2 - Настройка измерения импульсов рефлектометра

Рисунок 3.3 - Импульс рефлектометра (50 нс)

Рисунок 3.4 - OTDR-импульс (100 нс)

Рисунок 3.5 - Настройка для оценки производительности АОМ

Рекомендуемая основная литература

1. Макаренко С. И. Системы многоканальной связи. Вторичные сети и сети абонентского доступа: учебное пособие / С.И. Макаренко, В.Е. Федосеев. - СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. - 179 с

2. Гасымов И. Архитектура оптических сетей доступа FTTH (Fiber-to-the-Home) // Официальный документ компании CiscoSystemInc. 2007. - 12 с.

ГРАФИК подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Информационный обзор согласно теме	05.10.2018	
2. Основные направления развития и проблемы оптических систем мониторинга (теоретическая часть)	14.01.2018	
3. Исследование основных факторов влияющих на отказ ВОЛС (исследовательская глава)	02.02.2018	
4. Проведение экспериментов с эталонными моделями TDM, WDM и TWDM, для внедрения системы мониторинга OTDR (расчетная часть)	18.10.2019	
5. Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных	10.12.2019	

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой _____ (Байкенов А.С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (Байкенов А.С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант _____ (Лиханов К. В.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Бұл диссертациялық жұмыс жасанды пассивті оптикалық бақылау жүйелерін зертеу тақырыбына арналған.

Баяндамада қолданыстағы мониторинг жүйелерінің егжей-тегжейлі сипаттамасы берілген.

Пассивті оптикалық желілер үшін OTDR мониторингі жүйесін енгізу үшін эксперимент жүргізілді. Экспериментті орындау үшін MathLab бағдарламалық ортасы және Pirelli © ITLA DTL C13-050 лазері пайдаланылды.

Жұмыста 13 формула, 25 сурет, 7 кесте және 30 кеңсе қолданылған.

Аннотация

Данная диссертационная работа посвящена теме исследования пассивных оптических систем мониторинга.

В работе представлено подробное описание существующих систем мониторинга и обоснование выбранной модели.

Проведен эксперимент для внедрения системы мониторинга OTDR для пассивных оптических сетей. Для выполнения эксперимента был использована программная среда MathLab и лазер Pirelli © ITLA DTL C13-050.

В работе использовано 13 формул, 25 рисунка, 7 таблиц и 30 источника.

Annotation

This dissertation is devoted to the topic of research of passive optical monitoring systems.

The paper presents a detailed description of the existing monitoring systems and the rationale for the selected model.

An experiment was conducted to introduce an OTDR monitoring system for passive optical networks. To perform the experiment, the MathLab software environment and the Pirelli © ITLA DTL C13-050 laser were used.

The work uses 13 formulas, 25 figures, 7 tables and 30 sources.

Содержание

Введение.....	4
1 1..... Исследование пассивных оптических систем мониторинга.	
Оптические сети доступа.....	5
1.1 Пассивная Оптическая Сеть.....	5
2 Методы множественного доступа PON.....	8
2.1 TDM PON.....	8
2.2 WDM PON.....	9
2.3 TWDM PON.....	12
2.4 OTDR-мониторинг.....	13
3 Экспериментальная установка.....	17
3.1 Схема мониторинга.....	17
3.2 Характеристики системы.....	18
3.3 Результаты эксперимента.....	30
Заключение.....	40
Список литературы.....	41
Приложение А.....	44
Приложение Б.....	46

Введение

В нынешний информационный век оптическая связь играет важную роль в телекоммуникационных сетях, поскольку она может передавать сверхвысокоскоростные данные на чрезвычайно большие расстояния из-за широкой полосы пропускания и низкого затухания передачи, обеспечиваемого оптическими волокнами. Телекоммуникационная сеть может быть разделена на три части: транспортные сети дальнего следования, городские сети и сети доступа. Транспортные сети дальней связи, также известные как магистральные сети, обычно охватывают тысячи километров, соединяя основные сетевые узлы в разных странах на разных континентах. Оптические волокна были доминирующим средством для поддержки таких протяженных и высокоскоростных систем передачи. Городские сети, выступающие в качестве фидерных сетей между сетями доступа и сетями дальней связи, обычно охватывают диапазон от 10 км до 100 км, в котором в качестве основной сети используется синхронная оптическая сеть (SONET) / синхронная цифровая иерархия (SDH) как основной способ обеспечения высокоскоростной передачи данных. Сети доступа, охватывающие всего лишь десятки километров (0 ~ 20 км), обеспечивают связь для конечных пользователей. Они должны доставлять данные конечного пользователя и приложения большому количеству пользователей.

1. Исследование пассивных оптических систем мониторинга.

Оптические сети доступа

1.1 Пассивная Оптическая Сеть

Как правило, существует три типа технологий оптического сетевого доступа: точка-точка (PtP), активная сеть Ethernet и пассивная оптическая сеть. Основные различия в этих трех типах оптической сети заключаются в устройствах, установленных между центральным офисом и терминалом (или сетью) абонента.

Двухточечное волокно Архитектура PtP-волокна использует прямое волоконное соединение между центральным офисом и абонентским оконечным устройством оптической сети (ONT). Этот выбор имеет несколько преимуществ: поскольку оптоволоконное соединение предназначено для каждого пользователя, это небольшие потери в оптической мощности, что позволяет увеличить расстояние между СО и абонентским терминалом. Напротив, повышенное количество волокон влияет на размер центрального офиса.

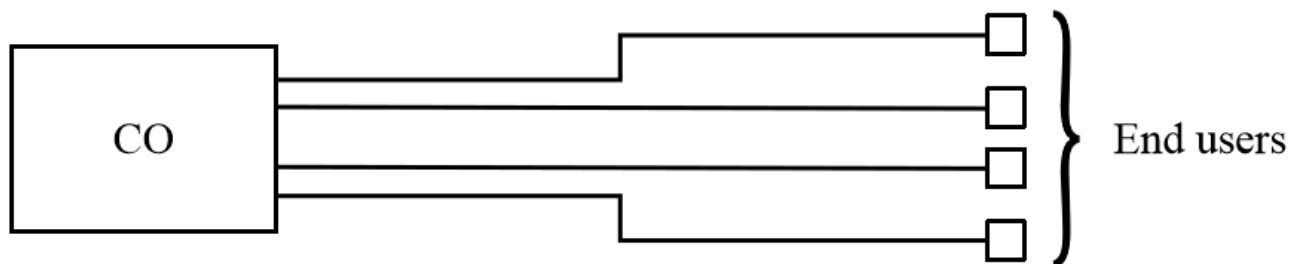


Рисунок 1.1- Волокно точка-точка

Сеть с активным Ethernet

Этот тип сети использует устройства с электропитанием, такие как коммутаторы и маршрутизаторы, для обслуживания различных абонентов. Основными отличиями по сравнению с предыдущей топологией является многоточечная структура, которая позволяет значительно сократить число волокон, заканчивающихся в центральном офисе. Также в этом случае расстояние между СО и подписчиками не является критической проблемой дизайна.

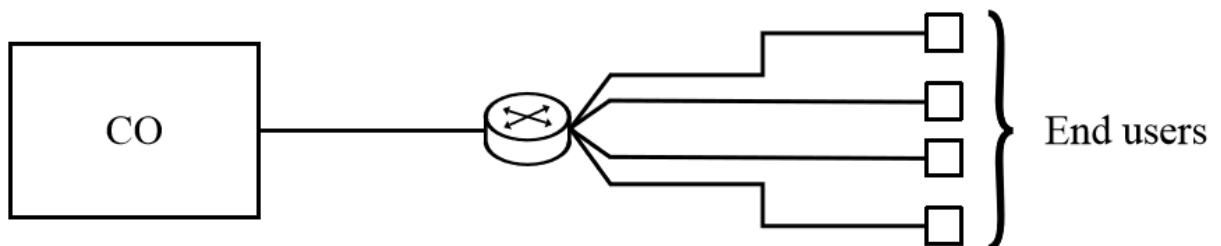


Рисунок 1.2- Сеть с активным Ethernet

Пассивная оптическая сеть

Как и в случае активного Ethernet, в пассивной оптической сети (PON) используется топология многоточечного соединения, заменяющая коммутатор одним или несколькими пассивными оптическими компонентами (такими как делитель мощности или решетки с длиной волны массива). Основными преимуществами этого выбора являются энергопотребление, низкая стоимость оптических компонентов (по отношению к активному Ethernet), более низкая стоимость развертывания волокон (по отношению к выбору волокон PtP). Благодаря компромиссу между стоимостью и производительностью пассивные оптические сети считаются сетью доступа следующего поколения.

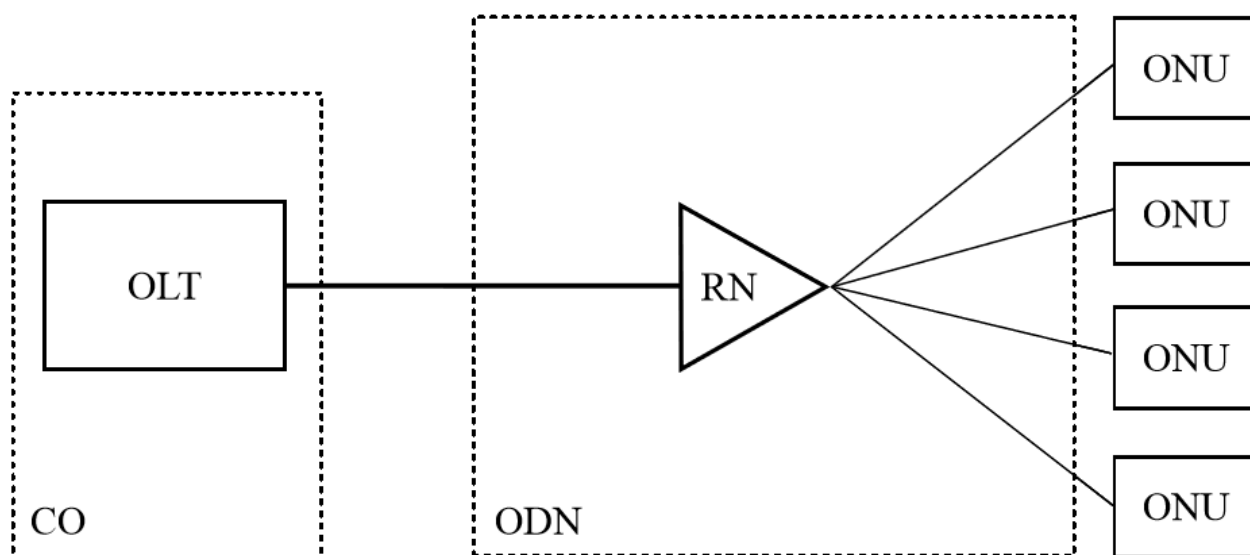


Рисунок 1.3-: Пассивная оптическая сеть

Как показано на рисунке 4, основными компонентами пассивной оптической сети являются:

- Терминал оптической линии (OLT): этот элемент является интерфейсом между магистральной сетью и сетью оптического доступа, он расположен в центральном офисе поставщика услуг;
- Оптический сетевой блок (ONU): это устройство расположено рядом с конечными пользователями, как мы увидим позже, оно может быть интерфейсом между первичной оптической сетью и вторичной сетью, реализованной с помощью медных кабелей.
- Оптическая распределительная сеть (ODN): она соединяет OLT в центральном офисе с ONU, другими словами, это фидерная сеть;
- Удаленный узел (RN): это пассивный оптический компонент, который разделяет и объединяет оптические сигналы (например, пассивный делитель мощности или решетчатая волноводная решетка). Поскольку удаленный узел

пассивен, его стоимость невелика, и нет необходимости в электропитании и контроле температуры.

Пассивные оптические сети можно классифицировать по проникновению волокон от оптического ограничителя линии к конечному пользователю. В соответствии с рекомендацией МСЭ-Т G.983 можно дать определения (рисунок 5). В литературе можно найти несколько вариантов (например, Fiber-To-The-Desk), представлено три основные сетевые архитектуры.

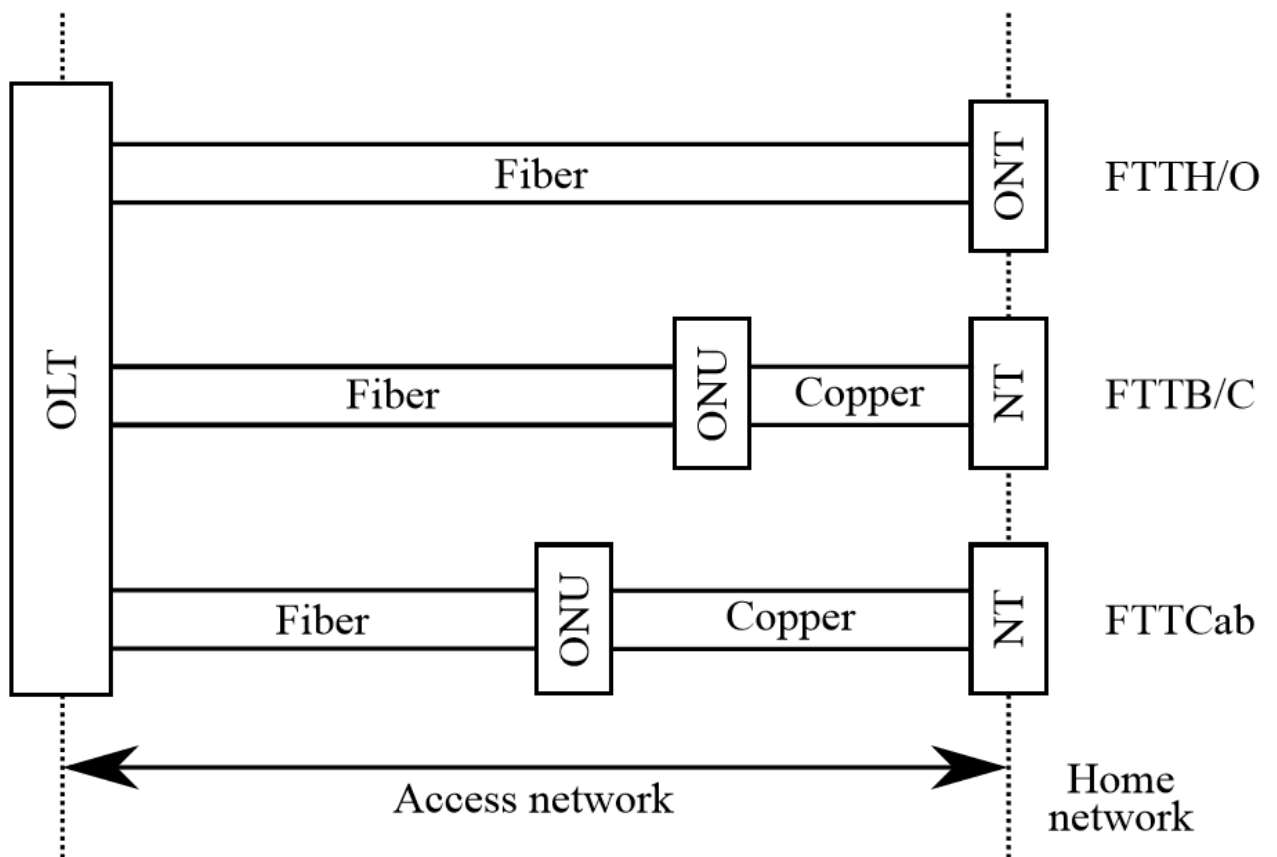


Рисунок 5-Архитектура сети FTТх в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т G.983.

Оптоволокно к шкафу (FTTCab)

Оптоволоконная связь заканчивается в уличном шкафу, расстояние до абонентов находится в диапазоне медных линий с высокой пропускной способностью, таких как технологии Ethernet или Wi-Fi. От кабинета до подписчиков предоставляется медная связь. FTTC в последнее время рассматривается как промежуточный шаг на пути к дому, и в настоящее время он используется поставщиками телекоммуникационных услуг.

Оптоволокно к зданию / обочине (FTTB / C)

Как и FTTCab, оптическое волокно достигает границы здания, и окончательное соединение осуществляется через технологии Ethernet или Wi-Fi.

Оптоволокно к дому / офису (FTTH / O)

Волоконно-оптическое соединение достигает непосредственно дома абонента. Обычно волокно заканчивается в коробке на внешней стене дома.

2 Методы множественного доступа PON

В последние два десятилетия были предложены различные схемы и архитектуры мультиплексирования в зависимости от стандарта. В этом разделе, следуя эволюции стандартов PON во времени, мы сосредоточимся на множественном доступе с временным разделением (TDMA), множественном доступе с разделением по длине волны (WDMA) и множественном доступе с разделением по времени и длине волны (TWDMA). Выбрано TWDMA вместо других предлагаемых решений, потому что он был выбран в 2012 году FSAN (группа сетей полного доступа) в качестве основного решения для NG-PON2 (следующего поколения PON2).

2.1 TDM PON

Схема пассивной оптической сети TDM показана на рисунке 6. В схеме TDM удаленный узел является пассивным разделителем мощности, и каждое ONU передает и принимает на одной и той же длине волны, поэтому им требуются одинаковые оптические устройства. Трафик нисходящего потока, организованный в кадрах, отправляется OLT каждому ONU, как показано на рисунке. Используя временной интервал, специальное поле в формате кадра, каждое ONU выбирает из нисходящих данных интересующую информацию. Кадр ограничен преамбулой, в каждом кадре временные интервалы идентифицируются дополнительными преамбулами (по меньшей мере, один для каждого ONU). Продолжительность временного интервала может варьироваться от нескольких микросекунд до нескольких миллисекунд в зависимости от конкретного протокола и количества ONU в сети. ONU передают на одной волне и не могут связываться напрямую, поэтому каждый ONU игнорирует состояние других. Доступ к каналу должен контролироваться во избежание коллизий на удаленном узле, кроме того, управление доступом должно быть динамическим, поскольку разные ONU могут иметь разные требования к загрузке.

Решение представляет собой протокол на основе резервирования, который требует:

- централизованный контроллер на OLT;
- протокол сигнализации как в OLT, так и в ONU: OLT запрашивает каждое ONU, которое отвечает, сообщая свое состояние (информацию для передачи), и затем OLT отправляет разрешение для временного интервала;

- синхронизация ONU (общая временная привязка): каждое ONU должно точно знать начало и продолжительность своего временного интервала, чтобы избежать столкновения на удаленном узле (обратите внимание, что расстояние между ONU и OLT очень важно для правильной синхронизации);

- алгоритм планирования на OLT: временные интервалы назначаются динамически в соответствии с состоянием ONU, требованиями QoS и торговыми соглашениями абонента.

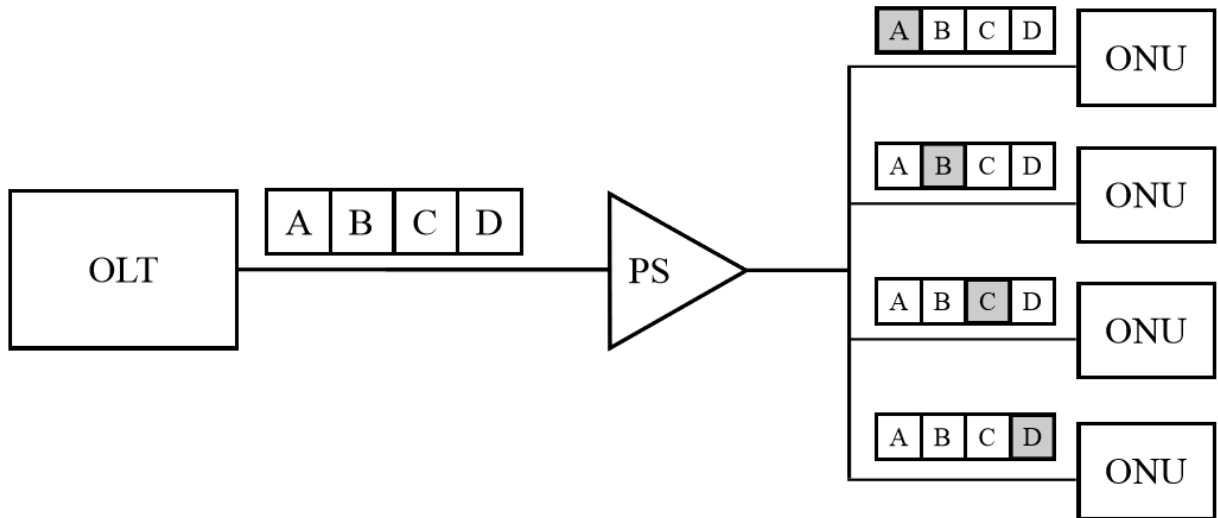


Рисунок 6 - Схема TDM PON

Приемник ONU прост, потому что принимаемая мощность всегда одна и та же, наоборот, приемник OLT более сложен, потому что ONU могут находиться на разных расстояниях, поэтому он принимает кадры с разными оптическими мощностями: ему требуется регулировка усиления для адаптации порог между 0 и 1.

2.2 WDM PON

Основная идея в сети оптического доступа WDM состоит в том, чтобы снабдить каждого абонента другой длиной волны, а не разделять одного и того же между 32 (или даже более) абонентами, как в TDM PON. В частности, каждое ONU передает и принимает на двух разных и выделенных длинах волн. С-диапазон используется для передачи в восходящем направлении, а L-диапазон - для нисходящего. Как показано на [рисунок 7](#), удаленный узел представляет собой решетчатую волноводную решетку (AWG), которая расщепляет и объединяет оптические сигналы на разных частотах. Эта архитектура имеет несколько преимуществ по отношению к решению TDM: каждый абонент может получить доступ к полной полосе пропускания, приспособленной для одной или нескольких выделенных длин волн, кроме того, эта сеть обеспечивает лучшую

безопасность, поскольку каждый пользователь получает только свои собственные данные. Уровень MAC проще: во-первых, он не требует протокола на основе резервирования на удаленном узле; во-вторых, пользователи с различными требованиями к пропускной способности и торговыми соглашениями могут управляться независимо. Сложность передатчиков и приемников OLT и ONU выше в WDM-PON. Для передачи в нисходящем направлении для OLT требуются разные источники, по одному для каждой длины волны (вместо одного обычного лазера), приемник ONU состоит из перестраиваемого фильтра в диапазоне C / L (для разделения длины волны в восходящем и нисходящем направлениях) и фотодиода.

Что касается передачи в восходящем направлении, каждое ONU оснащено отражательным полупроводниковым оптическим усилителем (R-SOA), который позволяет каждому абоненту передавать информацию в восходящем направлении с использованием оптической мощности, посылаемой OLT. Как показано на рисунке 8, непрерывный оптический сигнал (с фиксированной длиной волны) отправляется OLT в ONU. Этот сигнал модулируется, изменяя коэффициент усиления полупроводникового усилителя, и отражается задним зеркалом. Другая конфигурация для R-SOA возможна с использованием также EAM (ElectroAbsorption Modulator), как показано на рисунке 2.9. В этом случае входящий сигнал предварительно усиливается SOA и модулируется EAM. Наконец, модулированный оптический сигнал, несущий восходящие данные, отражается на задней грани и усиливается SOA. Это устройство позволяет избежать присутствия лазера в каждом ONU, поскольку этот оптический сигнал для передачи в восходящем направлении предоставляется OLT. Используя R-SOA и перестраиваемый фильтр для каждого ONU, мы получаем бесцветную конфигурацию: каждый ONU имеет идентичные и независимые от длины волны компоненты, что позволяет значительно снизить затраты.

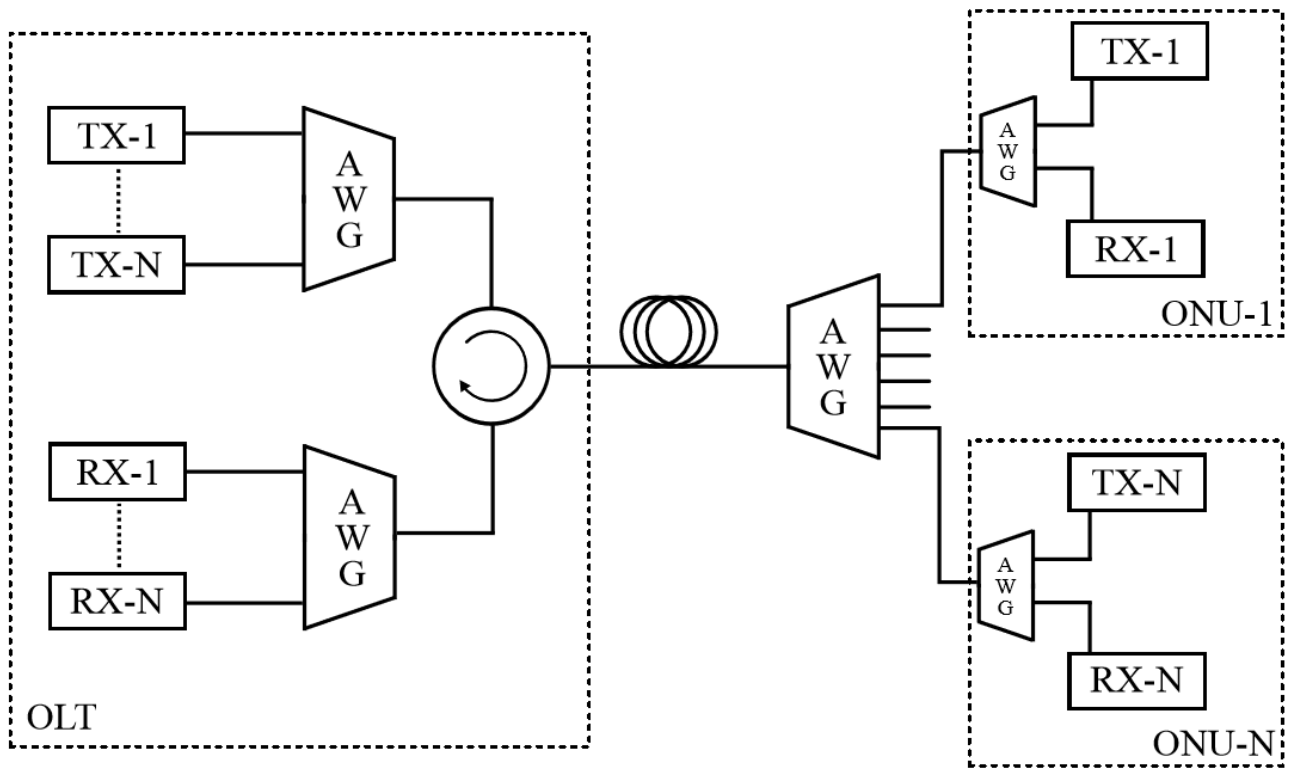


Рисунок 7-Общая схема WDM-PON.

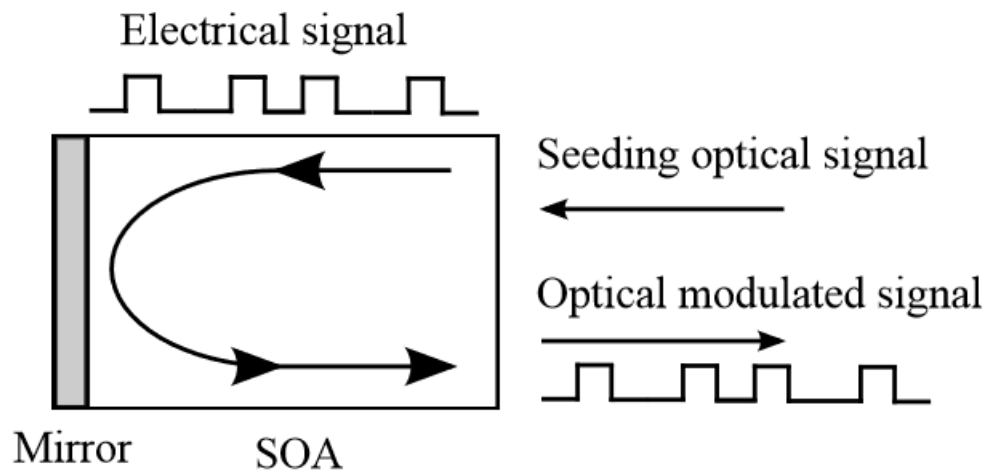


Рисунок 8: Схема R-SOA (отражающая SOA)

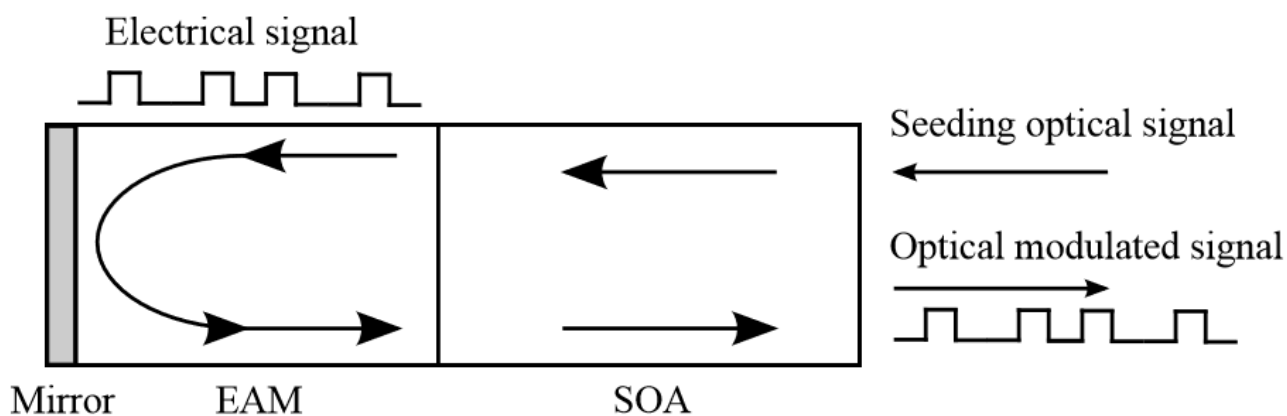


Рисунок 9: Схема REAM-SOA (отражающий электроабсорбционный модулятор SOA)

2.3 TWDM PON

В этом разделе представлены пассивные оптические сети TWDM. Архитектура предложена на рисунке 10. Как видно из рисунка 10, существует четыре PON TDM, собранные вместе на четырех различных длинах волн: каждый поставщик услуг работает на фиксированной частоте, обрабатывая различные ONU с использованием протокола разделения по времени. Следует отметить, что из-за наличия делителя мощности все ONU принимают все оптические сигналы, отправленные OLT. Этот тип сетевой архитектуры имеет различные приложения. Первым из них является предоставление с оплатой по мере роста: система может быть развернута, начиная с одной пары длин волн, и ее можно модернизировать, добавив дополнительные пары длин волн для увеличения пропускной способности сети. Другим возможным применением является разделение по локальной петле (LLU) с использованием нескольких OLT, по одному для каждого оператора, таким образом, чтобы различные поставщики услуг могли совместно использовать общую инфраструктуру. В данном случае AWG не является частью OLT, он используется для мультиплексирования различных портов OLT в одно волокно.

В последнее время также были разработаны пассивные оптические сети на основе OFDM, даже если с точки зрения оператора связи решение TWDM-PON считается лучшим решением для сетей доступа в жилых помещениях.

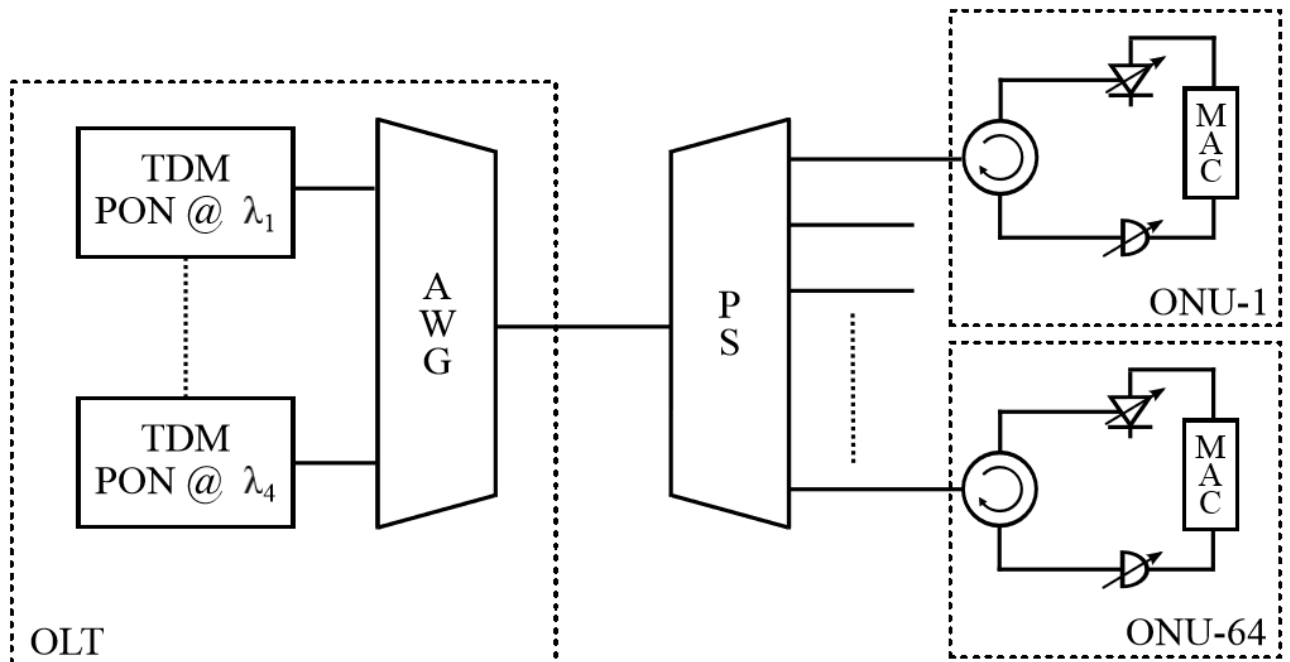


Рисунок 10: Архитектура TWDM-PON.

2.4 OTDR-мониторинг

В пассивных оптических сетях мониторинг является важной задачей для оператора сети, чтобы гарантировать функциональность сети. В обычной волоконно-оптической сети мониторинг осуществляется с помощью оптического рефлектометра во временной области (OTDR). В этом разделе приводятся ключевые концепции рефлектометра. OTDR является наиболее часто используемым инструментом для характеристики оптических волокон и оптических волокон. Универсальность этого инструмента обусловлена способностью измерять локальные свойства волокна (или волоконного звена), другими словами, рефлектометр дает полную тенденцию локальных потерь волокна. Параметр волокна, который описывает потерю мощности в волокне, является постоянной затухания α . В частности, если $P(0)$ - мощность, запускаемая на входе волокна, передаваемая мощность на расстоянии z от входа равна:

$$P(z) = P(0) \exp(-\alpha z) \quad (2.1)$$

Константа затухания часто выражается в дБ / км из результатов уравнения 2.1:

$$P(z)_{dBm} = 10 \log \frac{P(0)}{1mW} - (\alpha 10 \log e) z = P(0)_{dBm} - \alpha_{dB} z \quad (2.2 a)$$

$$\alpha_{dB} = (10 \log e)\alpha \simeq 4.34\alpha \quad (2.2 b)$$

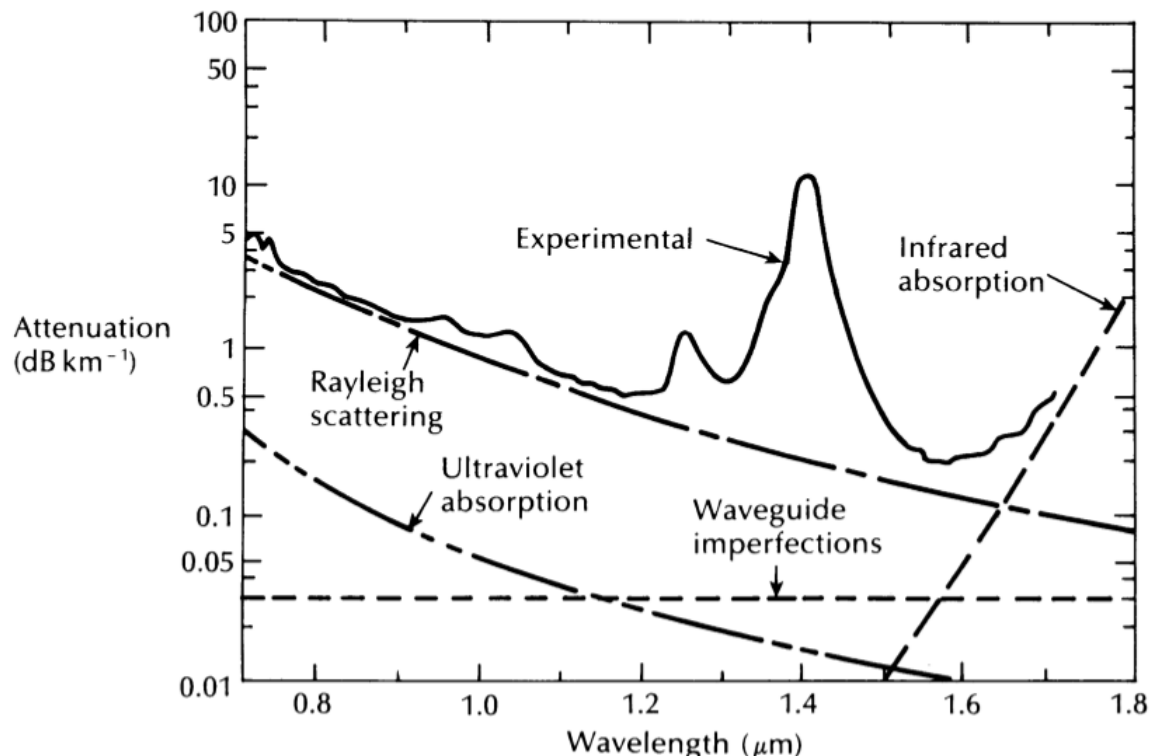


Рисунок 11-Измеренное затухание в волокнах кварца (сплошная линия) и теоретические пределы (пунктирные линии).

Как и следовало ожидать, потери в волокне зависят от длины волны света. На рисунке 11 показан спектр потерь кварцевого волокна. Несколько факторов вносят вклад в спектр потерь, при этом доминирующее влияние оказывают поглощение материала и рэлеевское рассеяние. Рэлеевское рассеяние представляет собой фундаментальный механизм потерь, возникающий из-за колебаний плотности, замерзших в ядре из плавленого кварца во время изготовления волокна, что приводит к неоднородному показателю преломления. Когда оптическое излучение пересекает эти неоднородные зоны, небольшая часть падающего света рассеивается во всех направлениях. Рассеяние Рэлея является ключевым явлением, используемым рефлектометром. На рисунке 12 изображен принцип действия рефлектометра: оптический источник генерирует импульс, который посылается в волокне через направленный ответвитель. Во время распространения импульса из-за рассеяния Рэлея часть мощности импульса обратно рассеивается на входе волокна. Наконец, направленный ответвитель перенаправляет обратно рассеянную мощность на фотодиод. В общее время t фотодиод получает обратно рассеянную мощность импульса, когда он находился в точке пространственной координаты:

$$z = \frac{1}{2} \frac{c}{n} t \quad (2.3)$$

где n - показатель преломления волокна. Фактор 2 в знаменателе обусловлен тем, что импульс должен пересекать волокно два раза: сначала исходный импульс проходит от входа волокна к точке z , затем мощность обратного рассеяния возвращается на вход волокна.

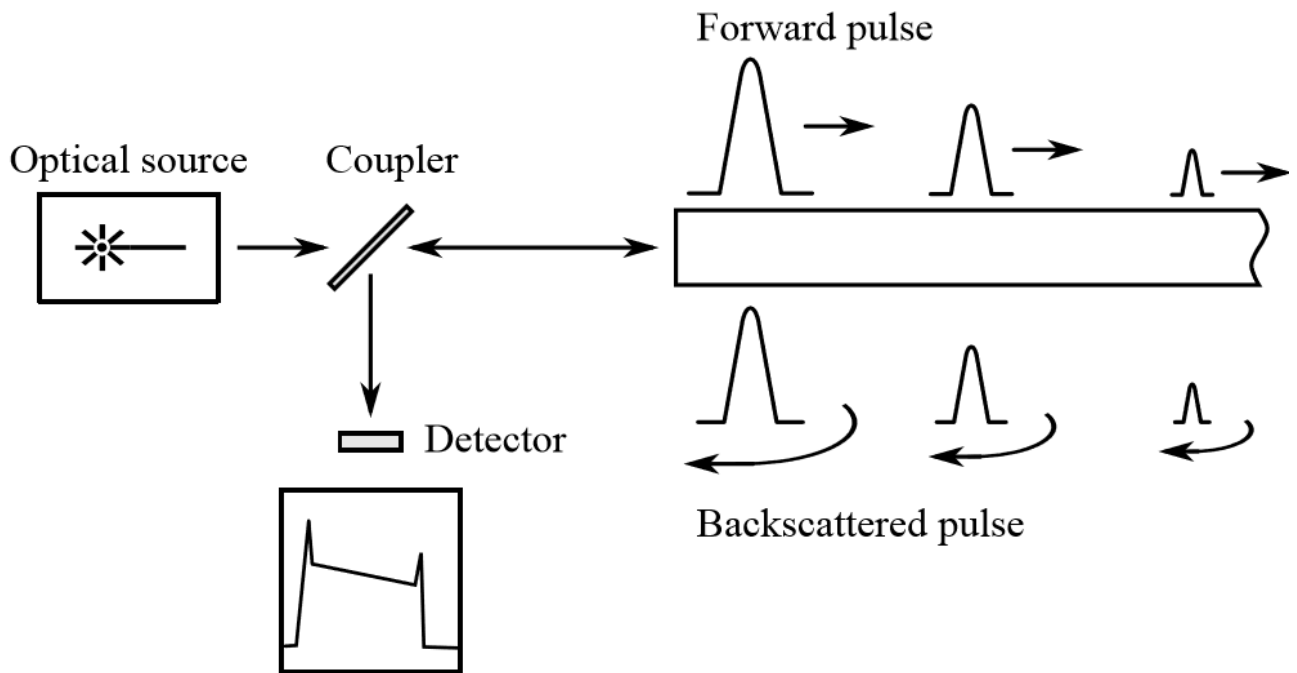


Рисунок 12 - Принцип действия рефлектометра

Важным параметром в показателях на основе рефлектометра является длительность импульса, поскольку он влияет на пространственное разрешение результатов измерения. Оптические импульсы, генерируемые рефлектометром, имеют длительность от десяти наносекунд до нескольких микросекунд, поэтому каждый импульс занимает участок волокна, равный:

$$\Delta = \frac{c}{n} \tau \quad (2.4)$$

Таким образом, показатель Δ OTDR имеет пространственное разрешение, связанное с длительностью импульса. Чтобы понять связь между разрешением и длительностью импульса, полезно использовать диаграмму Минковского (рис. 13). Для простоты рассмотрим прямоугольный импульс. Диаграмма Минковского показывает временную и пространственную эволюцию

импульса: в частности, я выделил голову и хвост оптического импульса. Из диаграммы видно, что принимаемая мощность в момент времени $2t$ является суммой всей мощности обратного рассеяния в сечении волокон $(c / n) (\tau / 2)$. Другими словами, пространственное разрешение рефлектометра равно половине длины импульса. В следующей таблице я представляю соответствие между шириной импульса и пространственным разрешением (учитывая $c \cong 3 \cdot 10^8$ $n \cong 1,5$).

τ	10 ns	100 ns	1 μ s	10 μ s
Δ	2 m	20 m	200 m	2 km

Рисунок 2.1-Ширина импульса рефлектометра и пространственное разрешение

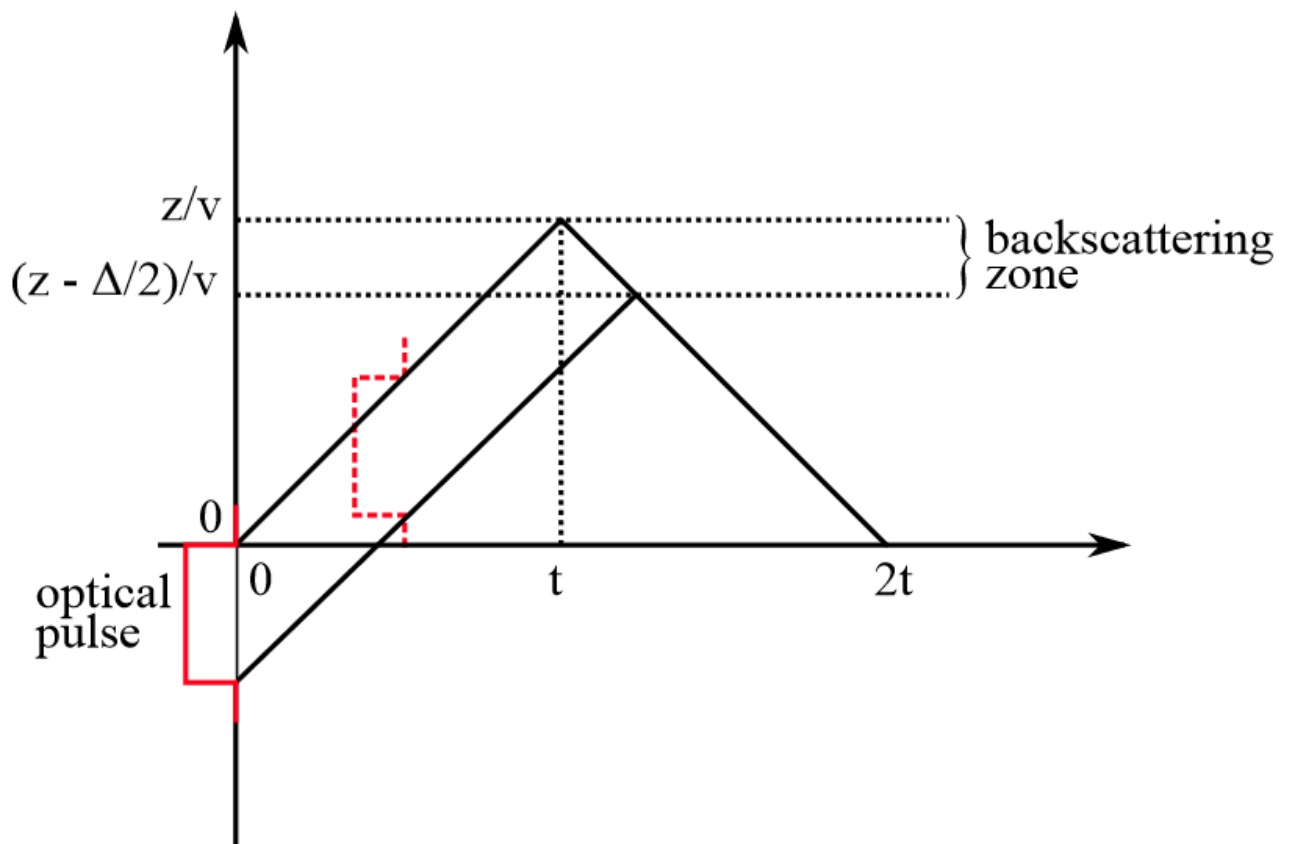


Рисунок 13-Диаграмма Минковского

Уровень мощности обратного рассеяния зависит от нескольких факторов, в частности, учитывая сечение волокон Δz (причем Δz достаточно мало, чтобы обеспечить небрежность потерь), мы получаем:

$$P_d = (S_d S_c) \Delta z P_i = S \Delta z P_i \quad (2.5)$$

где S_d представляет часть мощности, которая рассеивается из-за эффекта Рэлея ($S_d \sim 1 / \lambda^4$), а S_c представляет собой часть рассеянной мощности, которая повторно захватывается волокном и направляется в начало волокна. P_i - пиковая мощность импульса в секции волокна, где имеет место обратное рассеяние. Для компенсации экстремально низкого уровня мощности обратного рассеяния, получаемой от рефлектометра, используется лавинный фотодиод (APD). Кроме того, большое количество измерений должно быть сделано на одном и том же волокне (или волоконной линии связи), используя тот факт, что отношение сигнал / шум (SNR) увеличивается с квадратным корнем из числа измерений.

3. Экспериментальная установка

Целью работы является экспериментальное внедрение и оценка системы мониторинга пассивных оптических сетей. Идея состоит в том, чтобы реализовать многочастотный рефлектометр: ссылаясь на предложенные схемы PON (см. Рисунки 6, 7 и 10), задача заключалась в том, чтобы реализовать схему, способную осуществлять мониторинг во всех предложенных конфигурациях.

3.1 Схема мониторинга

Схема мониторинга предложена на рисунке 3.1. Чтобы получить возможность настройки длины волны, используется внешний перестраиваемый лазер, который непрерывно излучает оптическую энергию на выбранной длине волны. Чтобы получить те же импульсы рефлектометра, используется акустооптический модулятор (AOM), который управляется генератором импульсов (PG). Генерация импульса работает следующим образом:

1. рефлектометр генерирует один (или более) импульс;
2. этот импульс преобразуется в электрический сигнал с помощью фотодиода и отправляется в генератор импульсов в качестве сигнала запуска;
3. когда генератор импульсов получает электрический сигнал, он генерирует прямоугольный импульс (определенной длительности), который открывает AOM.

Как только импульс выходит из модулятора, он проходит через циркулятор и отправляется на тестируемое волокно с помощью AWG или делителя

мощности. Таким образом, мощность обратного рассеяния посылается в рефлектометр.

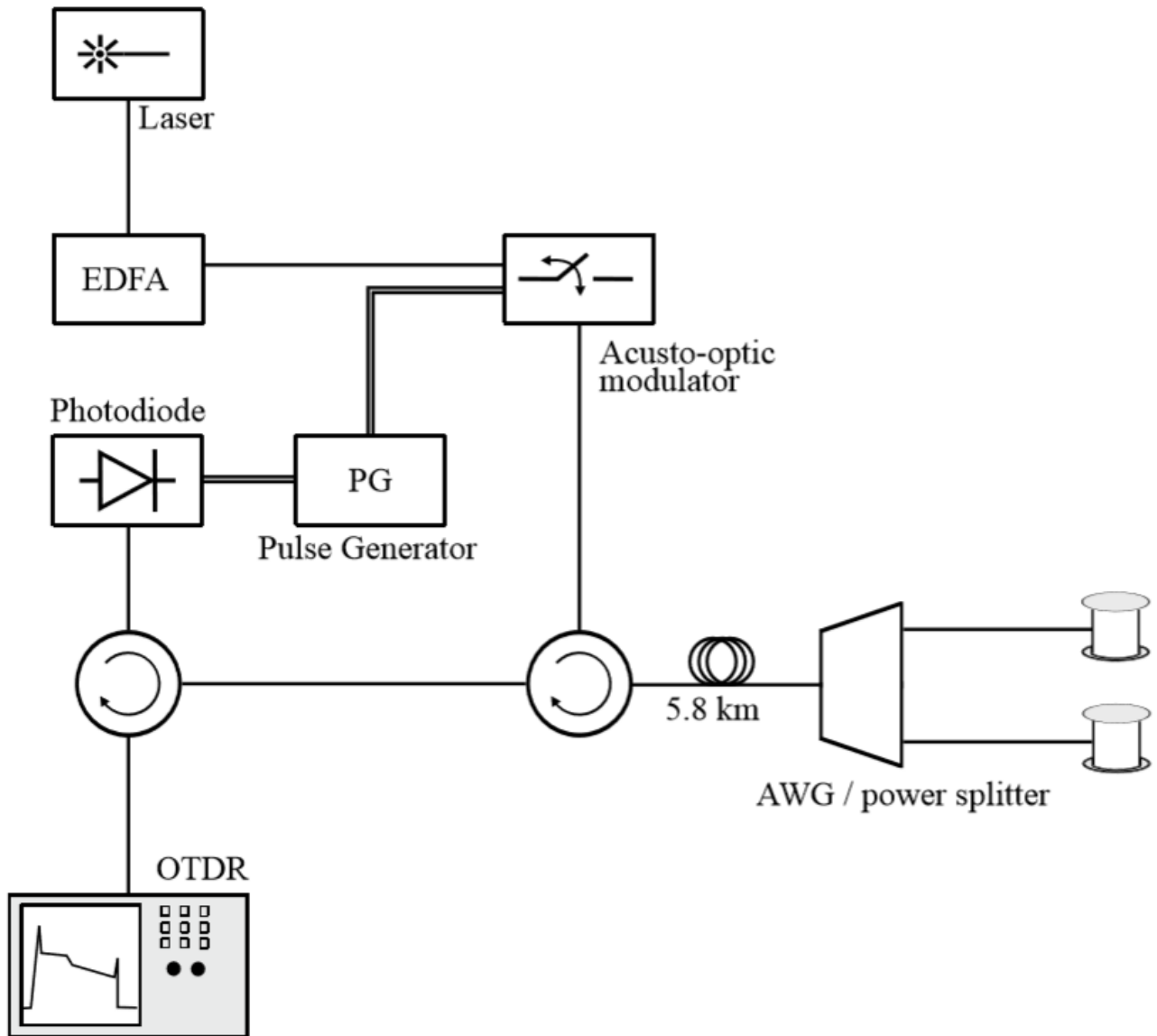


Рисунок 3.1-Схема мониторинга

3.2 Характеристика системы

В этом разделе представлены некоторые предварительные меры, выполненные для характеристики системы. В частности, я исследовал характеристики импульса, такие как форма импульса, длительность импульса и пики мощности импульса относительно обычного рефлектометра.

3.2.1 Форма импульса

Прежде всего мне нужна контрольная мера для типичного рефлектометра. Выполнен тест, используя простую настройку на рисунке 3.2. Импульс рефлектометра преобразуется в электрический сигнал и отображается на осциллографе. Фотодиод имеет коэффициент преобразования 45 мВ / мВт, с использованием аттенюатора (-19,07 дБ), чтобы предотвратить насыщение фотодиода. Выполнено измерение, используя два различных длительности импульса, сигналы, показанные на осциллографе, показаны на рисунках 3.3 и 3.4. Из осциллографа получаем, что среднее напряжение импульса составляет около 30 мВ, учитывая коэффициент преобразования и аттенюатор, выходная мощность рефлектометра составляет:

$$P_{OTDR-OUT} = 17.33dBm \quad (3.1)$$

Наблюдая за значениями 3.3 и 3.4, можно отметить, что оба импульса имеют время нарастания около 10 нс. Теперь можно сравнивать эти импульсы с импульсами, полученными из двух вариантов:

- сначала наблюдается сигнал, выходящий из системы, использующий только акустический модулятор: это позволяет нам оценивать время нарастания импульса и длительность импульса по отношению к установленному;
- во-вторых, повторяется то же самое, включая EDFA, чтобы учесть также влияние на усилитель.

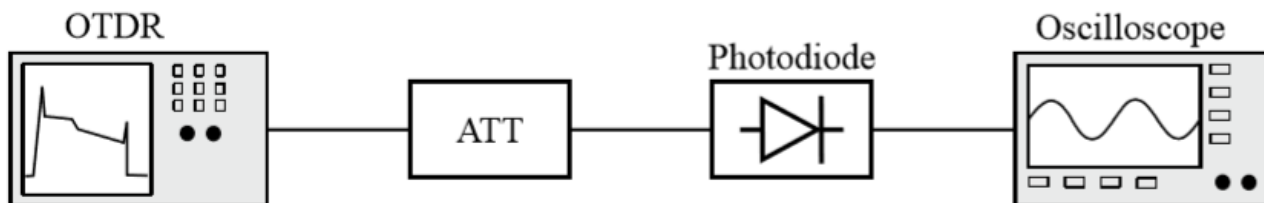


Рисунок 3.2: Настройка измерения импульсов рефлектометра

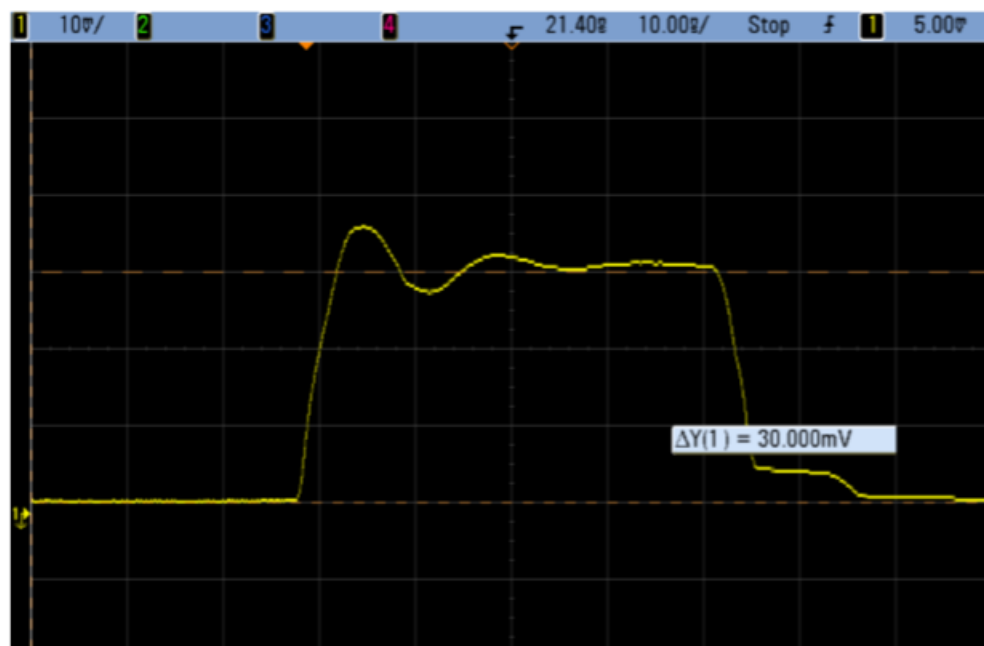


Рисунок 3.3: Импульс рефлектометра (50 нс)



Рисунок 3.4: OTDR-импульс (100 нс)

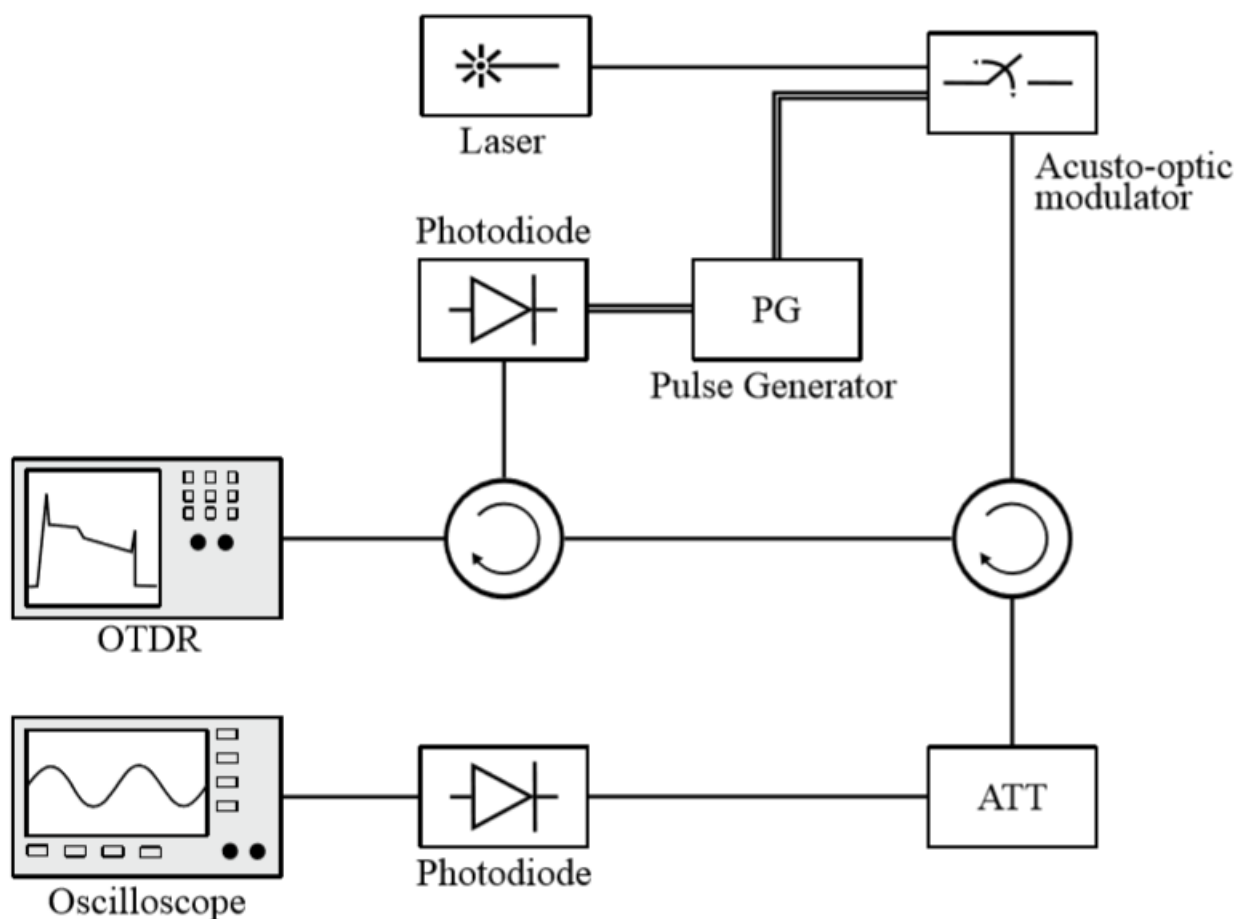


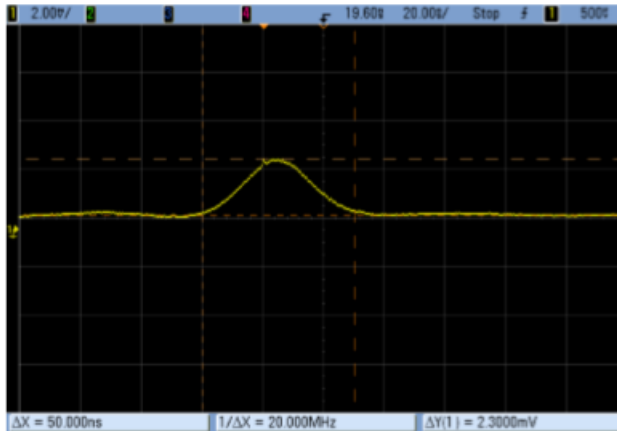
Рисунок 3.5- Настройка для оценки производительности АОМ

С целью оценки характеристик АОМ используется схема на рисунке 3.5. Наблюдая за фигурой 3.6а, мы можем заметить, что импульс не прямоугольный. Причину этого явления можно понять, взглянув на другие рисунки (от 3,6б до 3,6д): в этих случаях мы можем наблюдать, что импульсы на самом деле являются прямоугольными, а акустооптический модулятор имеет относительно большое время нарастания около 60 нс. затем, если установить длительность импульса 50 нс, АОМ не сможет полностью раскрыться. Опять же, можно также отметить, что в последних трех случаях, при длительности импульса более 50 нс, пик сигнала составляет около 4,4 мВ, и он не изменяется с другой шириной импульса. Что касается уровня мощности, лазер настроен на 0 дБм, принимая во внимание наличие аттенюатора (5 дБ в этом случае) и используя тот же фотодиод, что и в предыдущем случае (45 мВ / мВт), мы получаем:

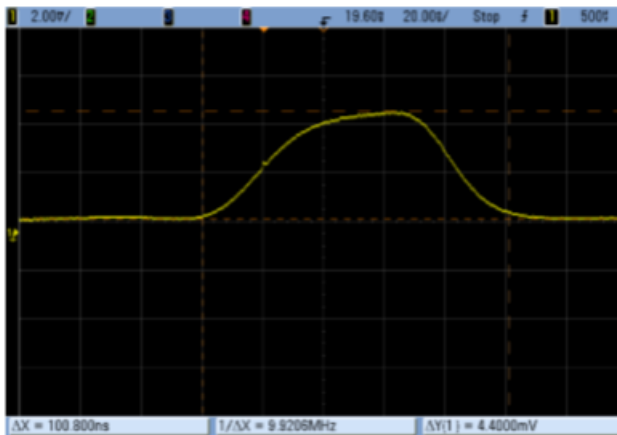
$$P_{OUT-AOM} = -5.1dBm \quad (3.2)$$

Из набора мер в непрерывном режиме (с открытым АОМ) я убедился, что модулятор вносит вносимые потери около 5 дБ.

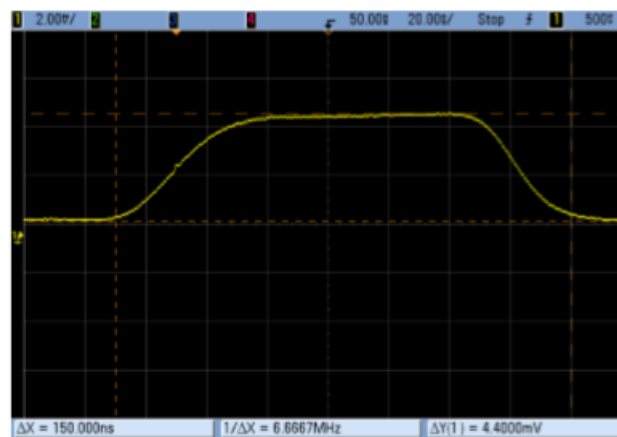
Наконец, я должен рассмотреть импульс с наличием EDFA для различных коэффициентов усиления.



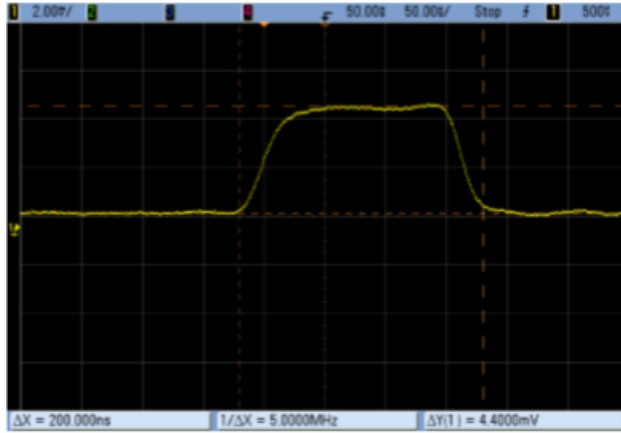
(а) 50 нс импульса



(б) 100 нс импульса



(в) 150 нс импульса



(г) 200 нс импульса

Рисунок 3.6- Общий импульс, выходящий из АОМ

Принятая схема очень похожа на предыдущую с выходом лазера, подключенного к эрбиевому усилителю, как показано на рисунке 3.7. Уровень мощности лазера составлял 0 дБм, а аттенюатор обеспечивал 19,15 дБ. В этом случае я установил длительность импульса (в генераторе импульсов) до 100 нс и наблюдал полный импульс, выходящий из модулятора для различных коэффициентов усиления EDFA, в частности с током накачки 350 мА, 400 мА, 450 мА и 500мА. Результирующие импульсы показаны на рисунке 3.8. За исключением случая с током накачки 350 мА (рис. 3.8а), где интенсивность накачки недостаточно высока, я могу наблюдать, что форма импульса не сильно модифицируется по сравнению со случаем в отсутствие EDFA. В частности, сравнивая рисунки 3.6б с 3.8в, импульсы очень похожи.

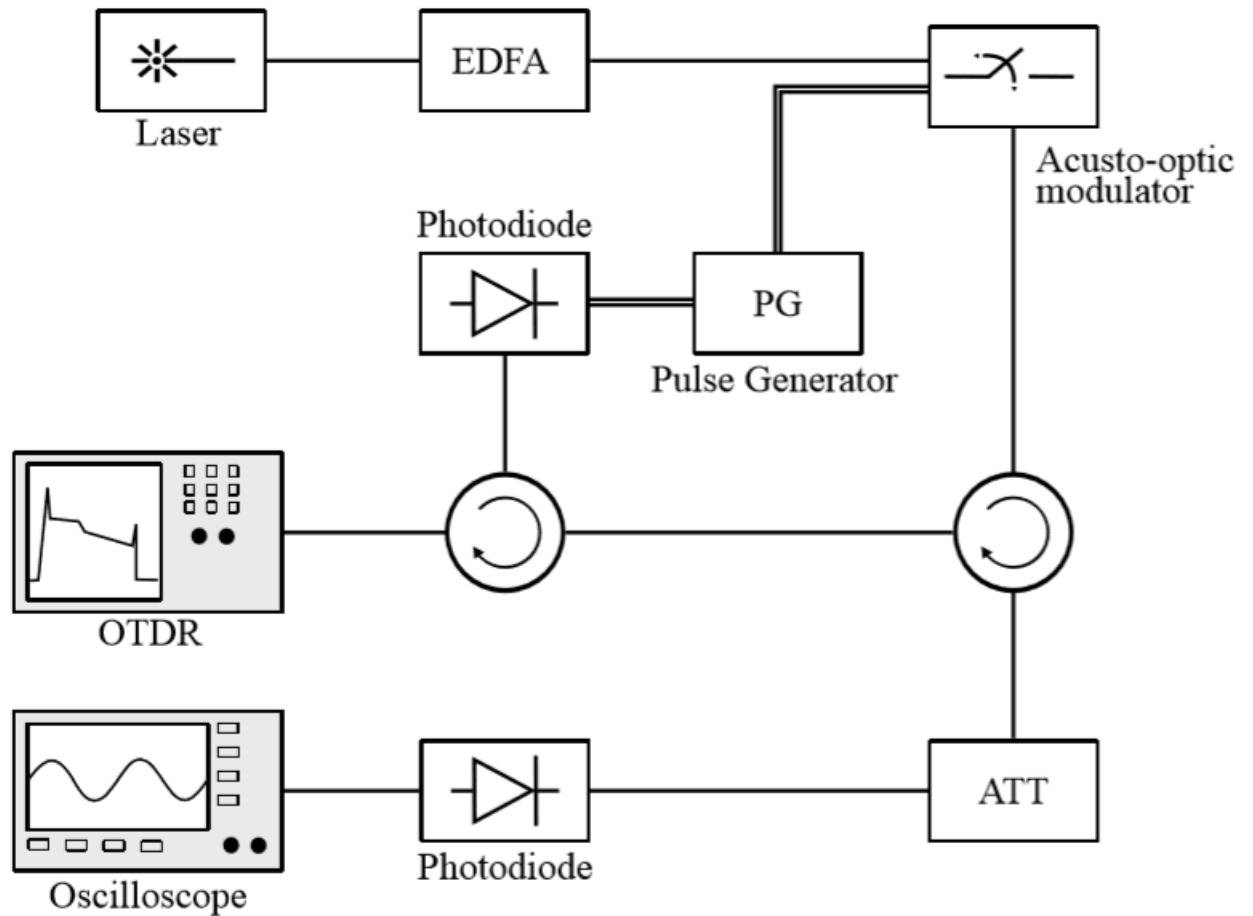
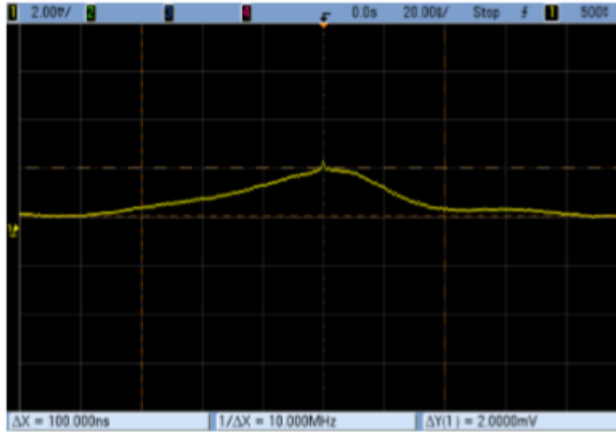


Рисунок 3.7 - Настройка для оценки влияния EDFA

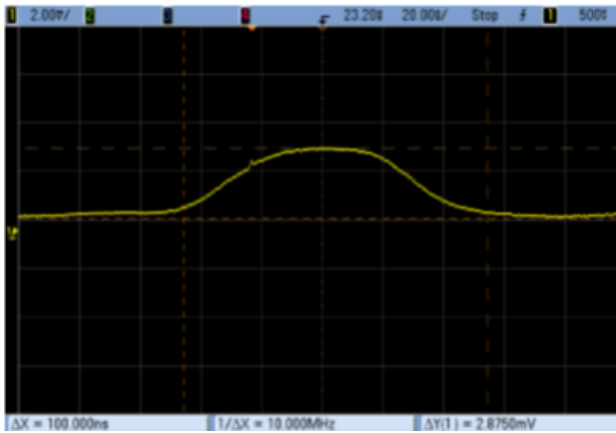
I_p (mA)	V_{peak} (mV)	$P_{OUT-AOM}$ (dBm)
350	2	5.63
400	2.88	7.21
450	4.15	8.81
500	5.45	9.97

Рисунок 3.1- Уровень мощности, измеренный на фотодиоде для разных токов накачки

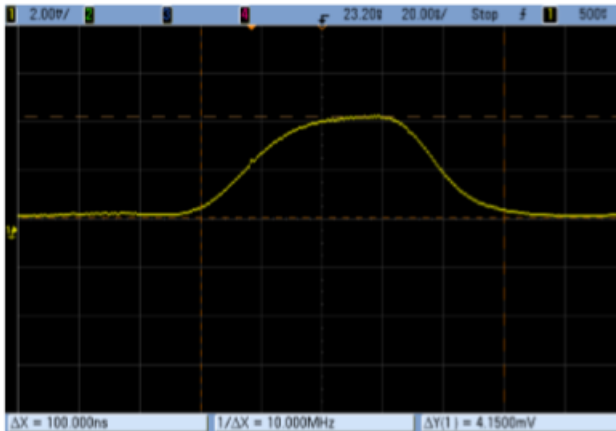
Что касается уровня мощности, я суммирую результаты в рисунке 3.1: напоминая, что для этого набора мер выходная мощность лазера установлена на 0 дБм, я достиг с относительно низким током накачки высокий уровень мощности на выходе АОМ, даже если он не сопоставим с уровнем, измеренным с помощью рефлектометра (см. рисунки 3.3 и 3.4). Для следующего измерения я использовал лазер Pirelli © с более высокими выходными уровнями, чтобы достичь выходной мощности, сравнимой с типичным рефлектометром.



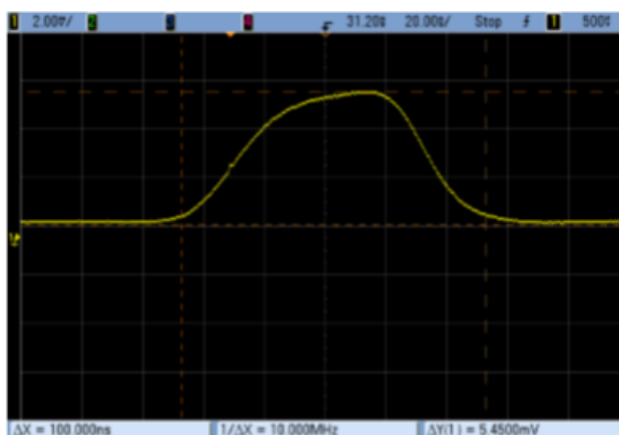
(а) Импульс 350 мА и 100 нс



(б) 400 мА и 100 нс импульса



(в) 450 мА и 100 нс импульса



(г) импульс 500 мА и 100 нс

Рисунок 3.8 - Общий импульс, выходящий из АОМ с EDFA

3.2.2 Импульсный спектр

Как было сказано ранее, задача состояла в том, чтобы проверить схему мониторинга, используя как AWG, так и делитель мощности. В первом случае важной мерой, которую необходимо выполнить, является проверка спектров на входе AWG. В частности, я использовал AWG с четырьмя выходными каналами на 1533 нм, 1541 нм, 1549 нм и 1557 нм. Основным аспектом, который должен был быть оценен, является вклад усиленной спонтанной эмиссии (ASE) EDFA. В этом случае настройка также довольно проста и показана на рисунке 3.9. Я выполнил эту меру с открытым акустооптическим модулятором, установив другой ток накачки для EDFA. На следующих рисунках мы можем видеть результирующие спектры с лазером, установленным на 1533 нм. Рисунки 3.10, 3.11 и 3.12 четко показывают наличие ASE. В частности, как и ожидалось, при увеличении тока накачки EDFA также ASE мощность имеет небольшой прирост.

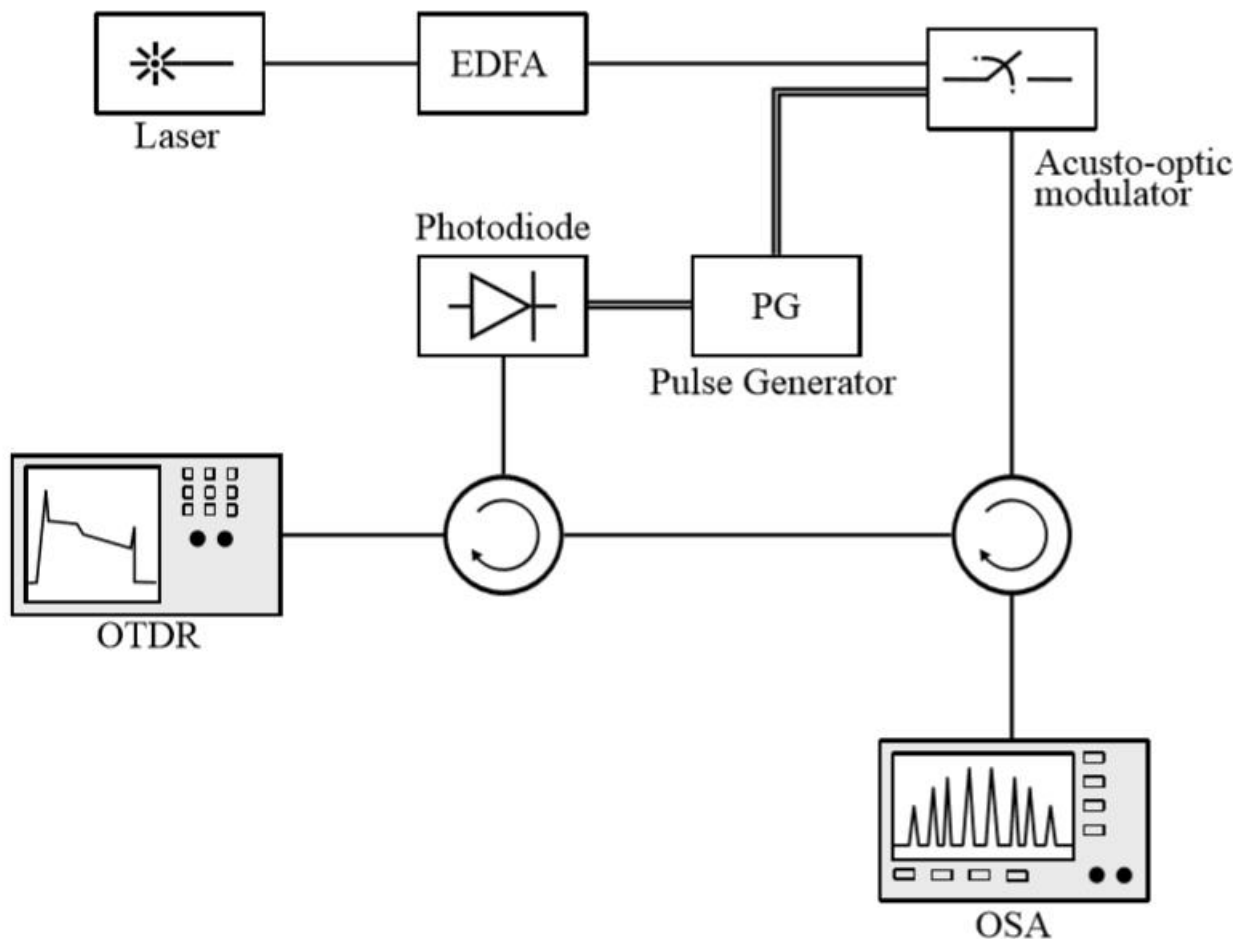


Рисунок 3.9 - Установка для оценки входных спектров AWG

Несмотря на то, что лазерный сигнал является узкополосным, на входе AWG я получаю сигнал с большей полосой пропускания из-за спонтанного излучения EDFA, поэтому немалая величина оптической мощности передается в другую ветвь AWG, и это явление может повлиять на измерение.

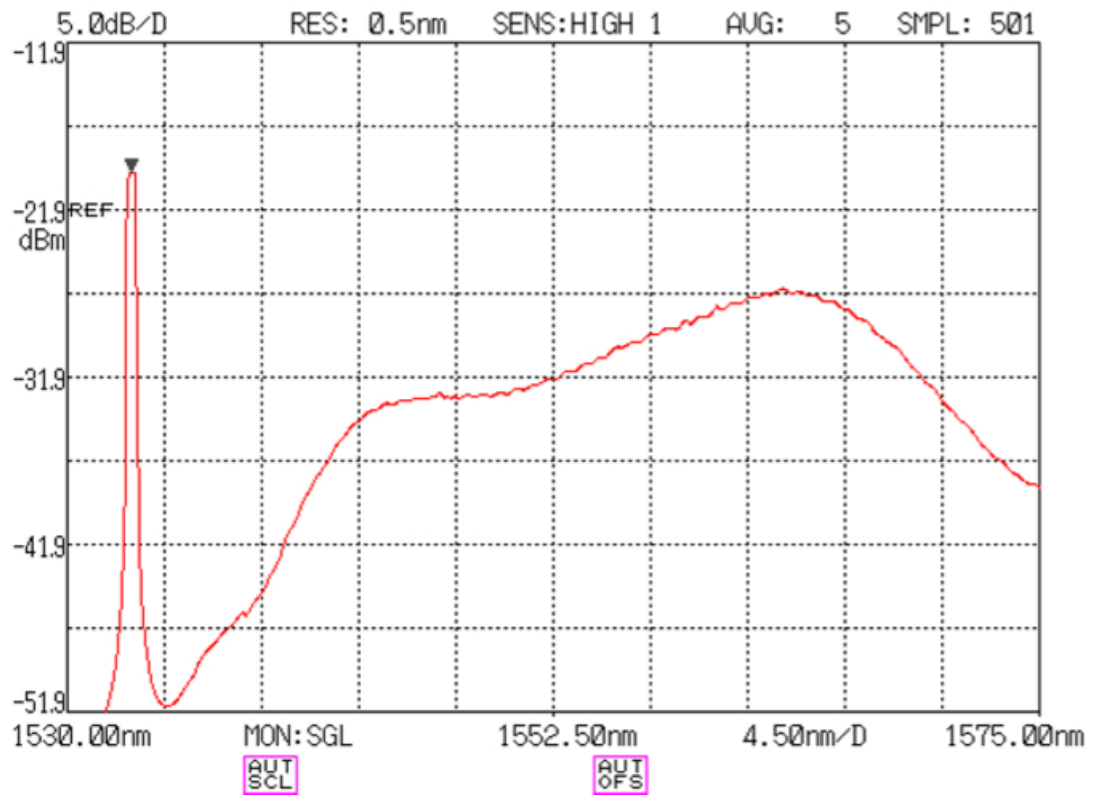


Рисунок 3.10 - Входные спектры в AWG с током накачки EDFA при 310 мА

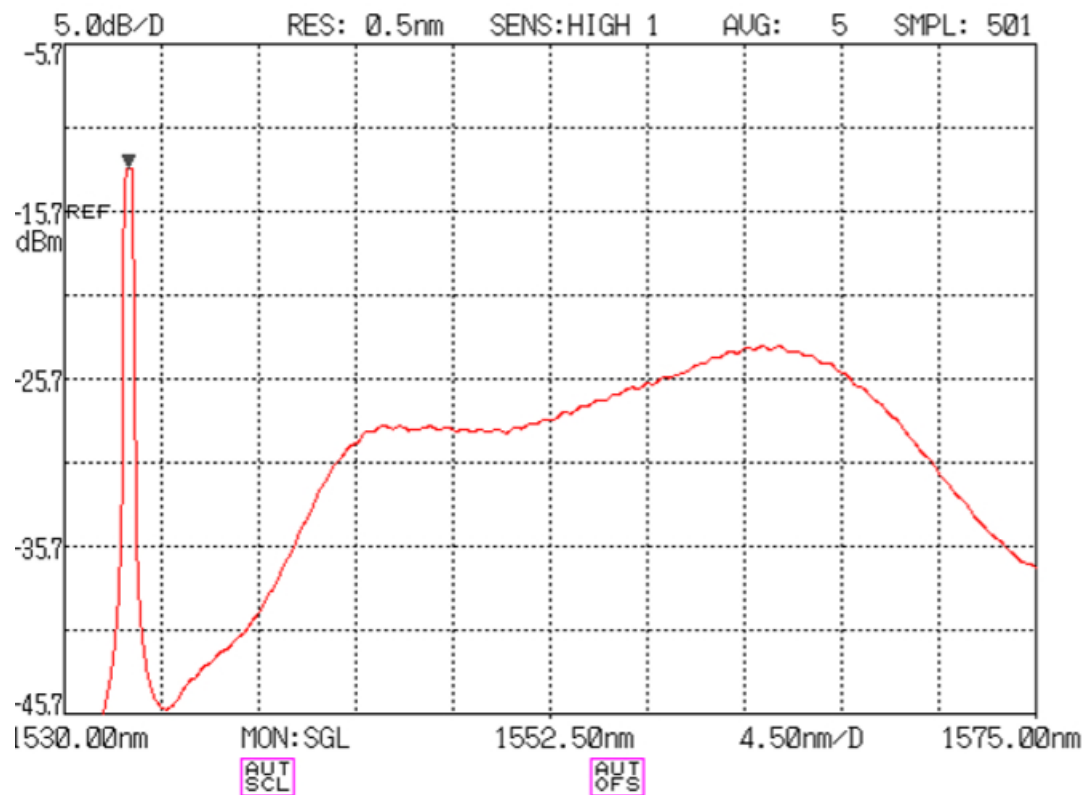


Рисунок 3.1 - Входные спектры в AWG с током накачки EDFA при 320 мА

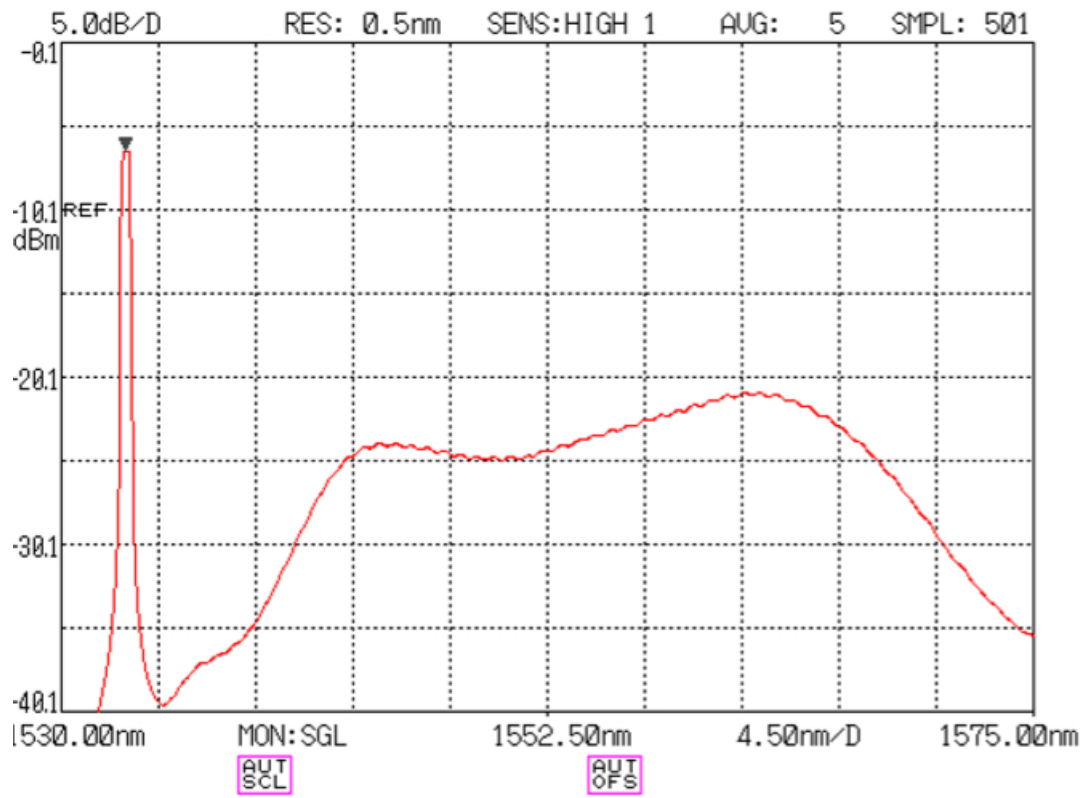


Рисунок 3.12: - Входные спектры в AWG с током накачки EDFA при 340 мА

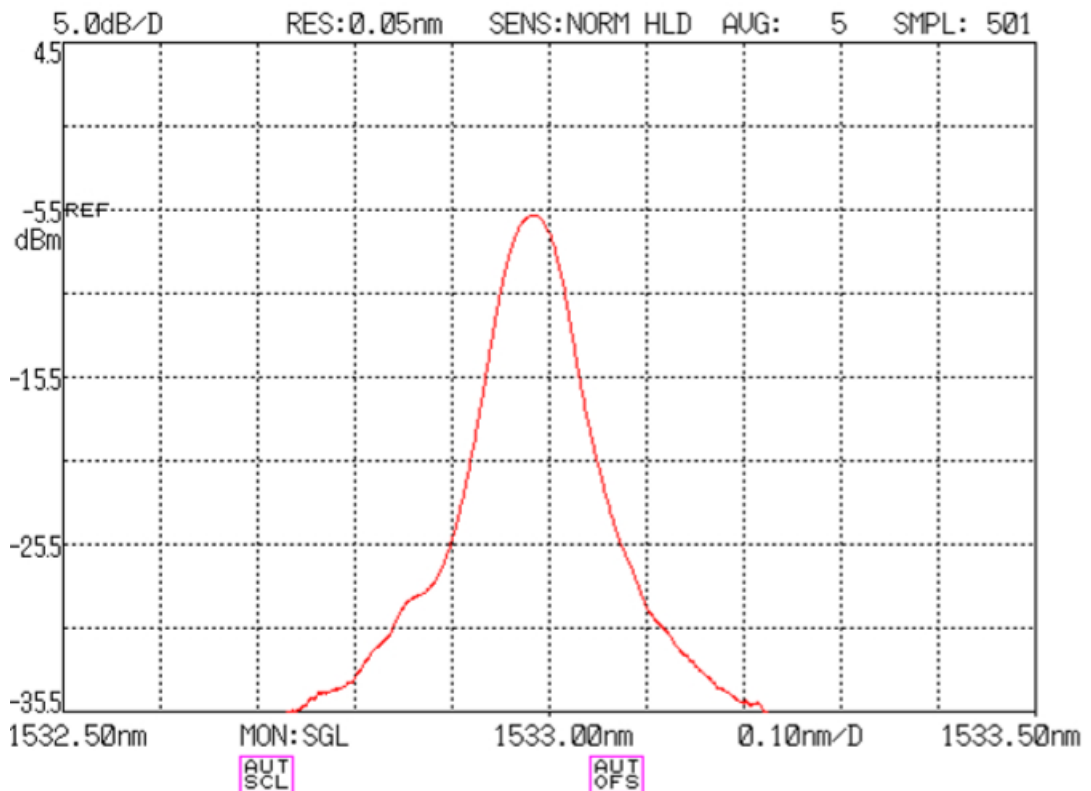


Рисунок 3.13: - Входные спектры в AWG с током накачки EDFA при 340 мА

3.3 Результаты эксперимента

Полученные результаты нескольких испытаний; в частности, я использовал как AWG, так и разветвитель мощности на удаленном узле, а также уменьшенное количество ответвлений относительно реальной конфигурации сети. Кроме того, длина волокна, подключенного к удаленному узлу, выше по сравнению с реальной пассивной оптической сетью (как правило, длина линии связи между удаленным узлом и ONU составляет до 5 км). Эти результаты позволяют нам понять поведение и ограничения системы. Я организовал шесть различных тестовых настроек с разными номерами ответвлений и терминаторами на конце волокон. Как показано на рис. 3.1, для всех этих тестов я использовал пусковой кабель длиной 5,8 км, как в обычной установке PON. Что касается настроек системы, которые я принял (если не указано иное):

- длительность импульса 150 нс (у генератора импульсов);
- выходная мощность лазера PLASER = 10 дБм;
- Ток насоса EDFA IP = 570 мА.

Конфигурация 1

В этой простой конфигурации я использовал четыре волокна, подключенных к AWG. В конце волокон, которые не были проверены, я вставил поглощающий терминатор, чтобы избежать отражений. Полученные следы

показаны на рисунке 4.2. Могу заметить, что в начале каждой трассы есть высокий пик, который обусловлен отражением разъема пускового волокна. Присутствие этого пика приводит к неправильному анализу следа рефлектометром, потому что прибор интерпретирует эти пики как пиковый конец. Кроме того, следы, полученные по этой схеме, являются более шумными по сравнению с типичными рефлектограммами. Это связано с наличием ASE (из EDFA): из-за усиленного спонтанного излучения небольшое количество энергии отправляется также в ветвь, которая не тестируется. Обратите внимание, что это явление вызывает наличие пиковых концов пиков других ветвей: наблюдая фигуру 4.2а, мы замечаем пики на расстоянии 20 км (относится к ветви 1541 нм) и на 15 км (относится к ветви 1549 нм). Глядя на трассы, я вижу, что пик на 5,8 км появляется на всех трассах: это связано как с разъемом пускового волокна, так и с разъемом AWG, потому что они очень близки, поэтому невозможно различить их пики в рефлектограмме. Наконец, я могу отметить, что все четыре следа правильно показывают пики конечного волокна, даже если за всеми следами есть некоторые ложные пики за концом волокна.

Конфигурация 2

Давайте теперь проверим возможность идентификации разрыва волокна. Для этой цели я использовал следующую конфигурацию: я использовал три канала AWG, в частности, в ветви 1557 нм, я подключил два разных барабана. Как и в предыдущих тестах, я использовал неотражательные терминаторы. Чтобы смоделировать разрыв волокна, я открыл разъем между барабанами, и мы увидели след. На рис. 4.4 я сообщаю, что как трасса, полученная без какой-либо модификации (красным), так и трасса, полученная при открытии соединителя в ветви 1557 нм (синим цветом), могу отметить, что:

- в трассе 1541 нм нет различий между красной и синей; • на следе 1549 нм синий след представляет новый пик примерно при 16 км из-за отражения на открытом соединителе (предыдущая трасса на 1541 нм не представляет пика, потому что волокно слишком короткое), других изменений не наблюдается;
- на трассе 1557 нм мы видим важное изменение между красной и синей трассой; открывая средний соединитель, пики на конце волокна перемещаются примерно на 16 км.

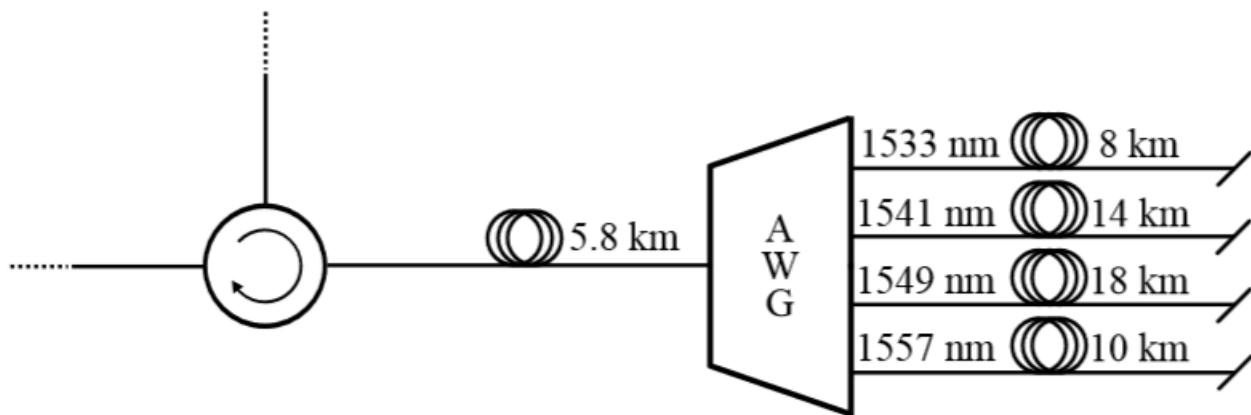
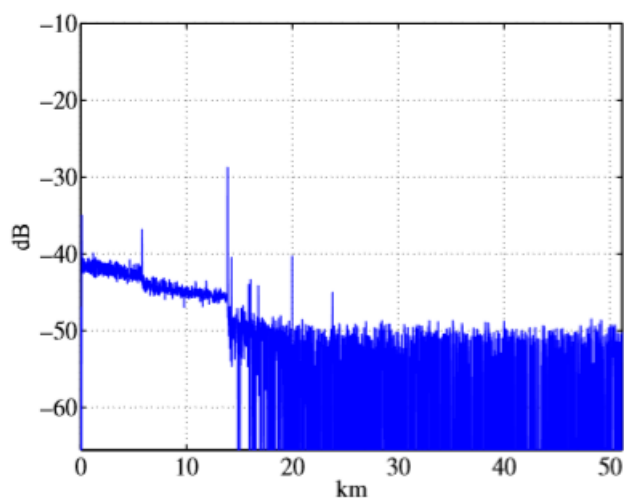
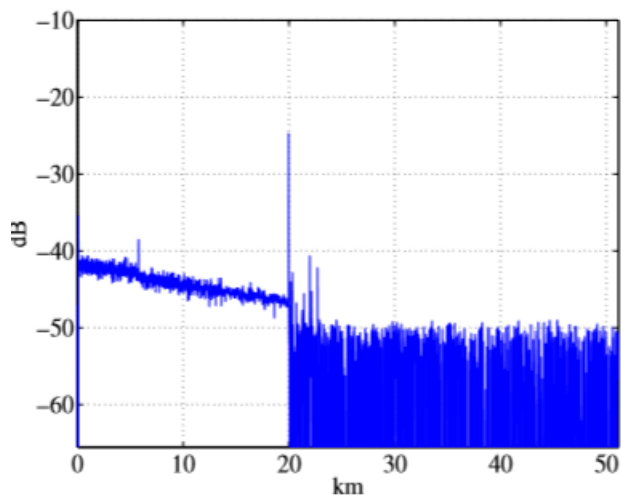


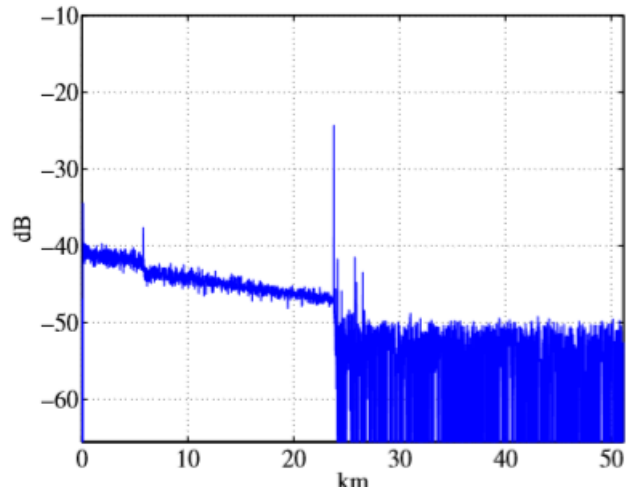
Рисунок 4.1:- Конфигурация 1



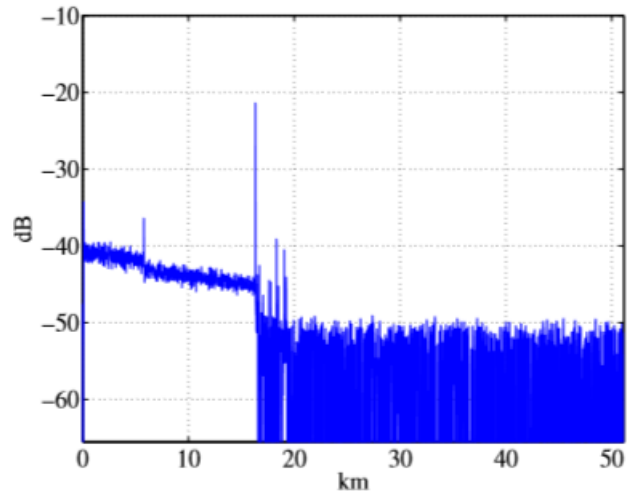
(а) 1533 нм ветвь



(б) 1541 нм ветвь



(В) 1549 нм ветвь



(Г) 1557 нм ветвь

Рисунок 4.2 - Конфигурация 1 трассировки

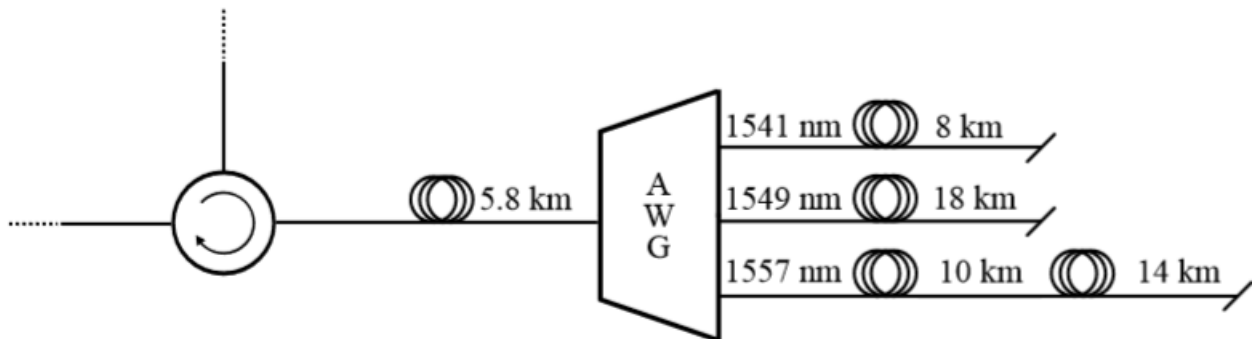
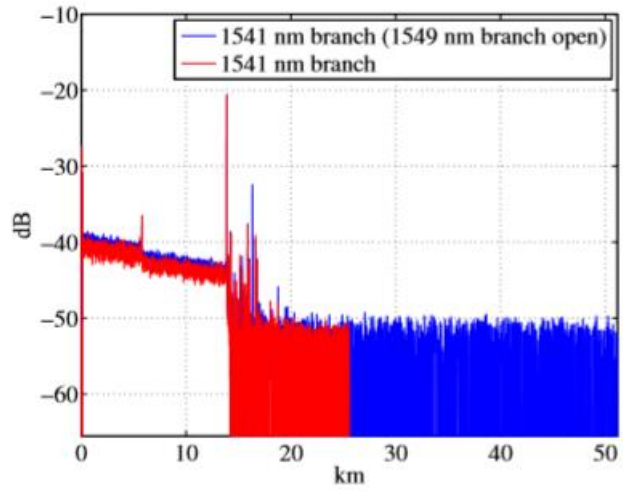
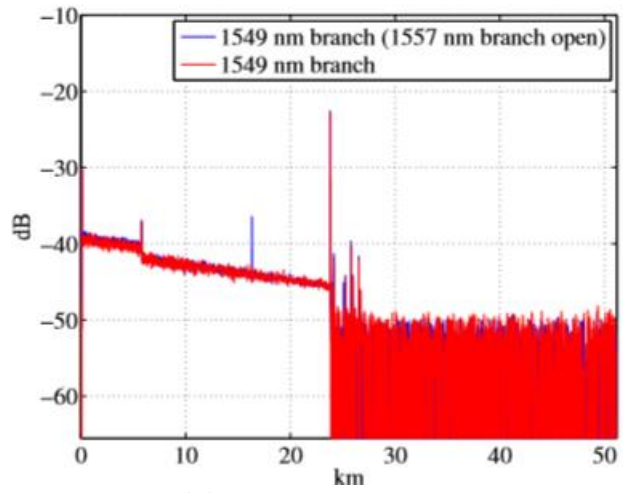


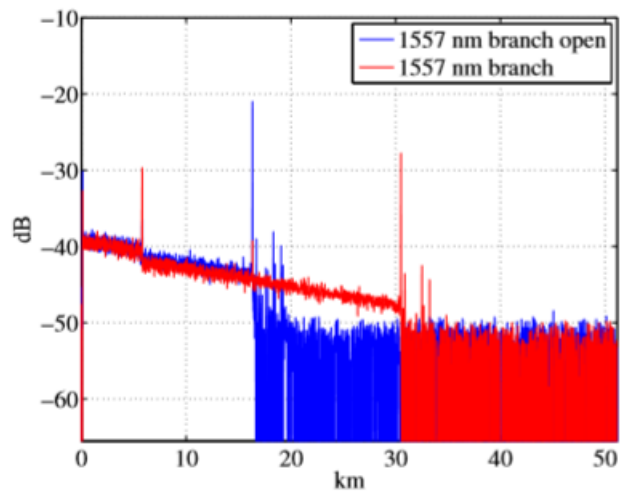
Рисунок 4.3 - Конфигурация 2



(a) 1541 нм ветвь



(б) 1549 нм ветвь.



(в) 1557 нм ветвь.

Рисунок 4.4 - Конфигурация 2 трассировки

Таким образом, в этом случае я могу идентифицировать разрыв, наблюдая модификацию следа соответствующей ветви. Другие следы (только один в этом эксперименте) показывают только появление нового пика относительно исходной конфигурации.

Конфигурация 3

Как упомянуто в разделе 2, в WDM-PON и TWDM-PON ONU оснащены фильтром и R-SOA, поэтому я заинтересован в тестировании системы с использованием частотно-избирательных оконечных окончаний. В этом разделе я представляю конфигурацию с 2 ответвлениями без какого-либо завершения, разъем на конце волокна просто открыт (рисунок 4.5). В следующем параграфе я представлю частотно-избирательные окончания таким образом, чтобы мы могли сравнить результаты. На рисунке 4.6 я сообщил о следах. Основные отличия от предыдущих измерений состоят в наличии конечных пиков волокон: на рисунке 4.6b оба пика на конце волокна хорошо видны. Наоборот, отражение от средних разъемов не видно. Что касается показателей, полученных при моделировании разрыва, то поведение аналогично предыдущему случаю: ветвь, интересующаяся разрывом, меняет конечное положение пика, а другая ветвь показывает новый пик. Присутствие множественного пика в трассе без изменений конфигурации (см. Рис. 4.6b) не может показаться проблемой, поскольку, зная конфигурацию сети, положение пиков имеет точное значение. Думая об автоматической системе, наличие нескольких пиков может усложнить анализ следов, особенно если волокна имеют одинаковую длину. В следующей конфигурации я ввожу частотно-селективные окончания как для того, чтобы быть ближе к реальной конфигурации сети, так и для избежания наличия множества пиков.

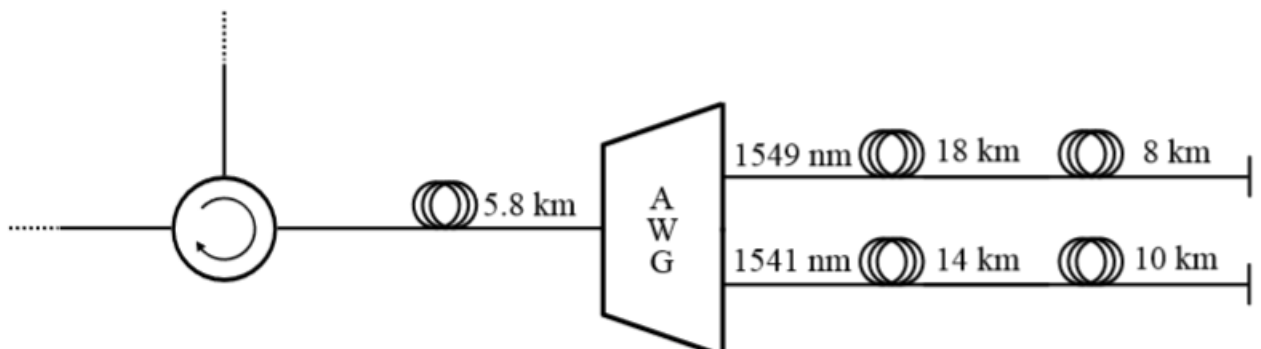
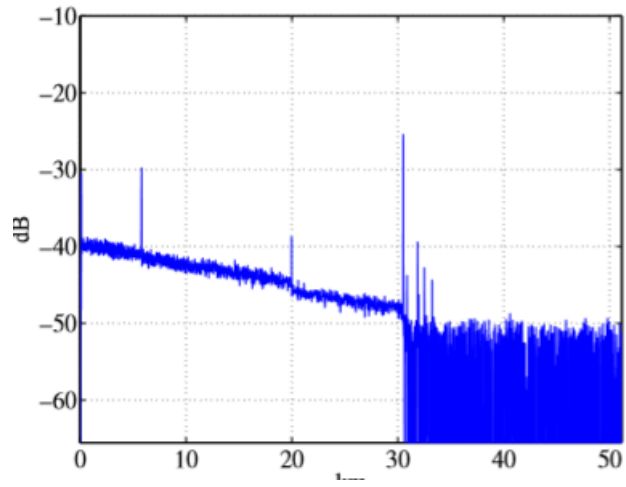
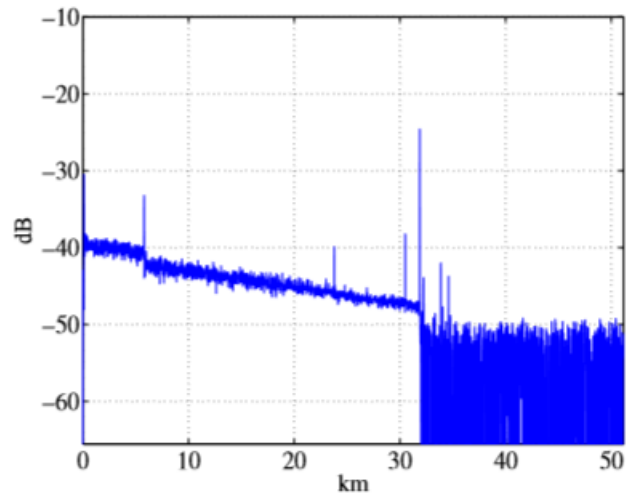


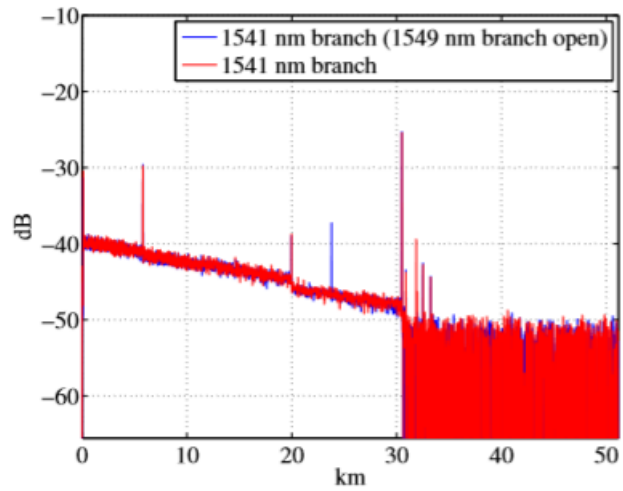
Рисунок 4.5 - Конфигурация 3



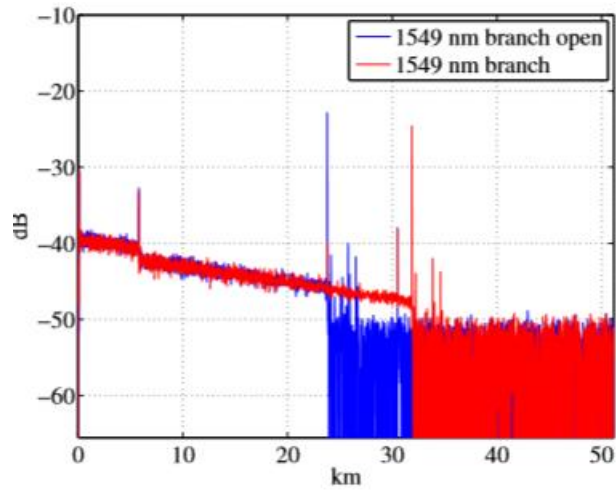
(а) 1541 нм ветвь.



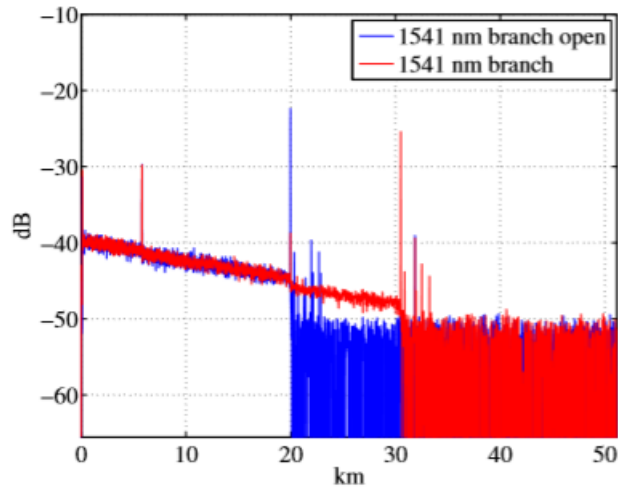
(б) 1549 нм ветвь.



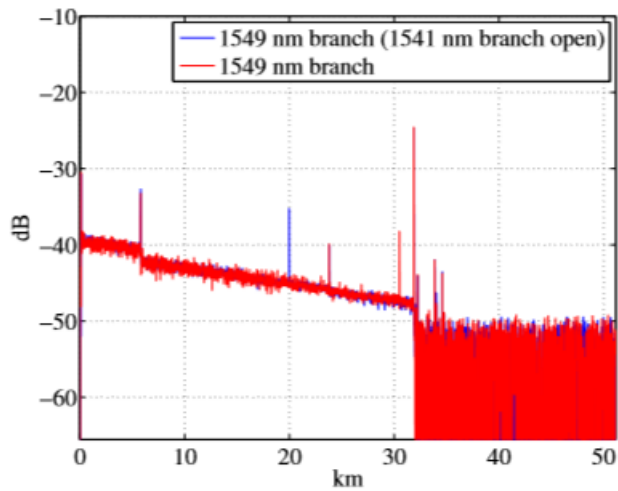
(в) 1541 нм ветвь (1549 нм ветвь открыта)



(г) 1549 нм ветвь (1549 нм ветвь открытая)



(д) 1541 нм ветвь (1541 нм ветвь открыта)



(ф) 1549 нм ветвь (1541 нм ветвь открытая).

Рисунок 4.6 - Конфигурация 3 трассировки

Конфигурация 4

В этой конфигурации используются частотно-избирательные окончания, в частности, я принял настраиваемую FBG (Fiber Bragg Grating) и перестраиваемый фильтр в полосе пропускания, за которым следует широкополосное зеркало. На рисунках 4.8 и 4.9 я представляю характеристику фильтра полосы пропускания и волоконной брэгговской решетки соответственно, используя источник белого света. Как только лазер настроен на правильную длину волны, процесс настройки PBF выполняется в два этапа: во-первых, используя измеритель мощности, я настроил устройство, максимизируя принимаемую мощность, затем я использую источник белого света, чтобы проверить точность настройки и исправить это при необходимости. Процесс настройки для FBG отличается, потому что на первом шаге я хочу минимизировать мощность на выходном порте (интересующая длина волны отражается на входном порте). Действие этих устройств хорошо видно при сравнении рисунков 4.6b и 4.10b: во втором случае наличие фильтра позволяет избежать появления меньшего пика в соответствии с концевым разъемом ветви 1541 нм. В этом случае я также смоделировал разрыв волокна в обеих ветвях, но результаты очень похожи с предыдущими случаями (рисунки 4.10c и 4.10d). До этого момента я рассматривал только сбои, которые вызывают высокое отражение, используя эту конфигурацию, я рассматривал также и неотражающую неисправность, такую как изгиб волокна. Чтобы смоделировать это событие, я подключил к среднему разъему неотражающий терминатор. На рисунках 4.10e 4.10f я вижу соответствующие следы. Я могу заметить, что эта ситуация генерирует след, похожий на разрыв волокна, но с уменьшением пиковой интенсивности, однако возможна идентификация сбоя.

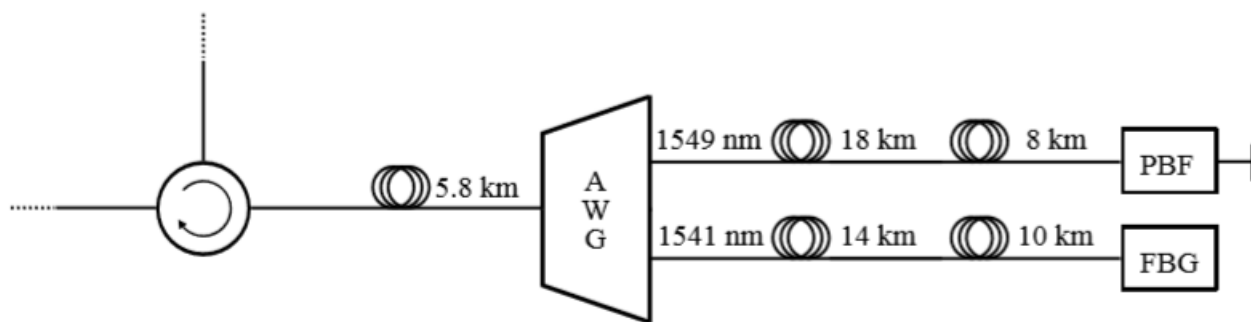


Рисунок 4.7 - Конфигурация 4

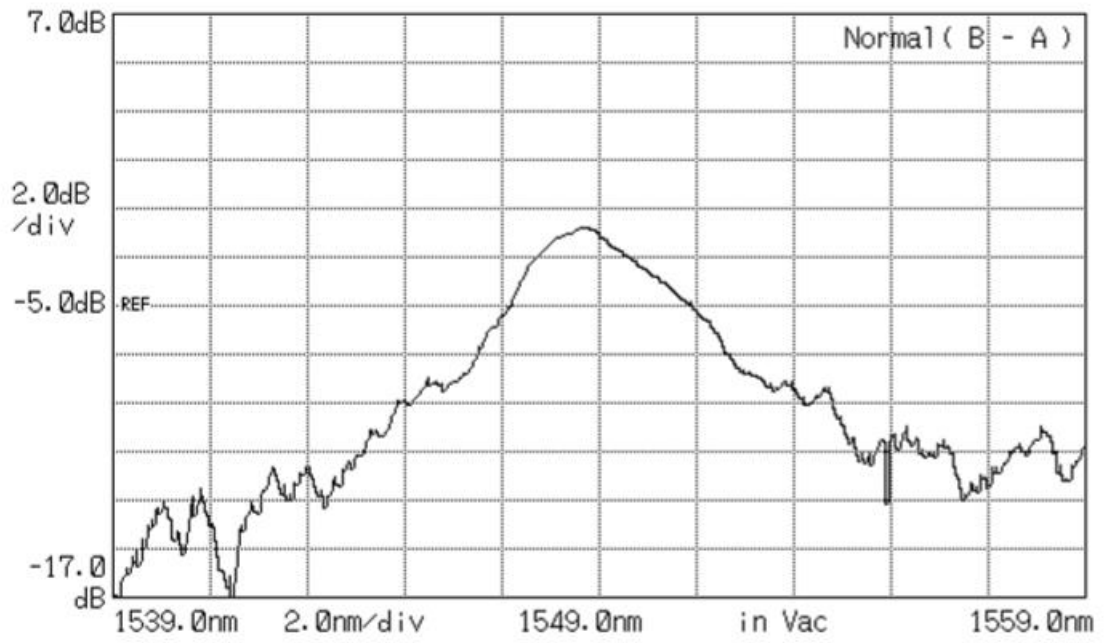


Рисунок 4.8 - PBF настроен на 1541 нм

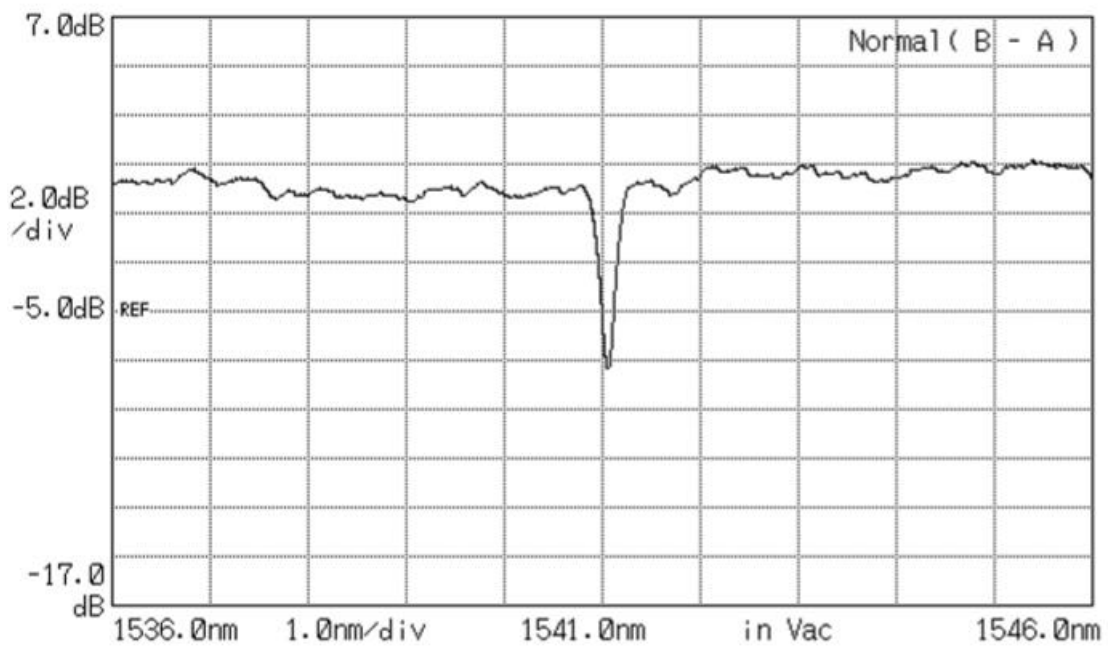


Рисунок 4.9 - FBG настроен на 1549 нм

Заключение

Целью данной работы было внедрение системы мониторинга OTDR для пассивных оптических сетей. В частности, я рассматривал пассивные оптические сети TDM, WDM и TWDM в качестве эталонных моделей. Были рассмотрены два основных отказа линии: разрыв волокна (отражательный отказ) и изгиб волокна (или, как правило, неисправный отказ). Во-первых, система мониторинга была реализована и полностью охарактеризована. Затем он был протестирован с использованием различных конфигураций, которые имитируют удаленную заметку и несколько ветвей сети. Результаты показывают, что если удаленный узел реализован с помощью AWG, можно с высокой точностью идентифицировать отказ как при наличии разрыва волокна, так и при наличии неисправной неисправности. Что касается случая делителя мощности, результаты показывают, что все еще возможно идентифицировать отказы линии, наблюдая получающиеся следы, даже если, с большим количеством ответвлений, это могло бы быть более трудным. Будущая работа должна быть ориентирована на тестирование системы в реальной пассивной оптической сети, в частности с более реалистичным количеством ветвей (до 64), и реализованной с использованием R-SOA в качестве завершений, и путем установки соответствующей длины для связи между удаленный узел (AWG или PS) и ONU. Еще один важный аспект будущей работы заключается в реализации автоматической системы мониторинга, позволяющей осуществлять автоматический (возможно, удаленный) мониторинг сети.

Список литературы:

M. Cen, J. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'Advanced fault monitoring scheme for ring based long-reach optical access networks',
Journal of Lightwave Technology, vol. 35, n. 10, pp. 1876-1886, 2017 (2017/05/15).

M. Cen, J. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'Advanced fault monitoring scheme for ring based long-reach optical access networks',
Journal of Lightwave Technology, vol. , n. 99, 2016 (2016/12/15).

M. Cen, J. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'Full Monitoring for Long-Reach TWDM Passive Optical Networks based on TRA technique',
Optics Express, vol. 24, n. 14, pp. 15782-15797, 2016 (2016/07/11).

M. Cen, J. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'Multi-wavelength transmission-reflection analysis for fiber monitoring',
Optics Express, vol. 22, n. 25, pp. 31248-31262, 2014 (2014/12/31).

M. Cen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'Localization and quantification of reflective events along an optical fiber using a bi-directional TRA technique',
Optics Express, vol. 22, n. 8, pp. 9839-9853, 2014 (2014/04/21).

M. Cen, M. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'Full Monitoring for Long-Reach TWDM Passive Optical Networks based on TRA technique' (Invited),
International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Mo.B6,1, Trento (I), 10/07-14/07, 2016 (2016/07/10).

M. Cen, J. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'A full monitoring scheme for long-reach TWDM PONs',
Asia Communications and Photonics Conference ACP, papier AM2E.1, Hong-Kong ©, 19/11-23/11, 2015 (2015/11/19).

M. Cen, J. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'Advanced Transmission-Reflection-Analysis (TRA) System for Long-Reach Passive Optical Network Monitoring' (Invited),
International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), papier Tu.A2.1, Budapest (Hungary), 05/07-09/07, 2015 (2015/07/05).

M. Cen, J. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'An advanced dark fiber monitoring system for next generation optical access networks',
18th Annual Workshop of the IEEE Photonics Society Benelux Chapter, pp. 20-21,
Mons (B), 22/05, 2015 (2015/05/22).

M. Cen, J. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'Efficient monitoring for ring-based long-reach passive optical networks',
Optical Fiber Communication Conference (OFC), papier Th4H.4, Los Angeles
(USA), 22/03-26/03, 2015 (2015/03/22).

M. Cen, J. Chen, V. Moeyaert, P. Mégret, M. Wuilpart,
'An advanced dark fiber monitoring system for next generation ring-and-spur long-reach passive optical networks',
IEEE Photonics Society Benelux Chapter Symposium 2014, pp. 209-212, Enschede
(NL), 03/11-04/11, 2014 (2014/11/03).

M. Cen, J. Chen, P. Mégret, V. Moeyaert, M. Wuilpart,
'Fast and simple fault monitoring for long-reach passive optical networks',
European Conference on Optical Communications (ECOC), Cannes (Fr), 21/09-25/09, 2014 (2014/09/21).

M. Cen, P. Mégret, J. Chen, V. Moeyaert, M. Wuilpart,
'Localization and quantification of reflective events along an optical fiber using a two-wavelength TRA',
IEEE Photonics Benelux Chapter, Symposium 2013, pp. 73-76, Eindhoven (NL),
25/11-26/11, 2013 (2013/11/25).

M. Wuilpart, M. Cen, V. Moeyaert, P. Mégret,
'Reflectometry techniques for the monitoring of passive optical access networks (PONs)' (Invited),
Asia Communications and Photonics Conference (ACP), Beijing (China), 12/11-15/11, 2013 (2013/11/12).

M. Cen, P. Mégret, M. Wuilpart,
'Advanced monitoring system for next-generation passive optical networks',
IEEE Photonics Benelux Chapter, Symposium 2012, pp. 127-130, Mons (B), 29/11-30/11, 2012 (2012/11/29).

M. Cen, J. Chen, P. Mégret, V. Moeyaert, M. Wuilpart,
'Dark Fiber Monitoring System for Ring-and-Spur Long-Reach Passive Optical Networks',

PIERS 2014, Guangzhou (Chine), 25/08-28/08, 2014 (2014/08/25).

M. Cen,
'Advanced Monitoring Systems for Next Generation Passive Optical Networks',
PhD thesis, Faculté Polytechnique UMONS 2016, 2016.

M. Cen,
'Advanced Monitoring Systems for Next Generation Passive Optical Networks',
Faculté Polytechnique de Mons, .

Приложение А

В экспериментальной установке я использовал лазер Pirelli © в качестве оптического источника. Управляющее программное обеспечение было реализовано в Matlab ©. Характеристики лазера приведены в таблице А.1.

Item	Min.	Typ.	Max	Unit
Tuning Range	-	39	-	nm
Frequency range (C-band)	191.15	-	196.25	THz
Channel Spacing	-	50	-	nm
Output Power	7	-	12	dBm
Spectral Linewidth	-	500	-	kHz

Рисунок А.1 - Характеристики Pirelli © ITLA DTL-C13-050

На лазерную плату подается два напряжения: 3,3 В и -5,2 В. Устройство и компьютер обмениваются данными со стандартом RS-232 через последовательный порт с помощью разъема DE-9, подробная информация о настройках последовательного порта приведена в таблице А. 2. Графический интерфейс пользователя (GUI) был разработан для простого управления лазером. GUI предлагается на рисунке А.2.

Setting	Value
Baud rate	9600
Data bits	8
Parity	none
Flow control	none
Stop bit	1

Рисунок А.2. - Настройка последовательного порта для связи между компьютером и лазером

Продолжение приложения А

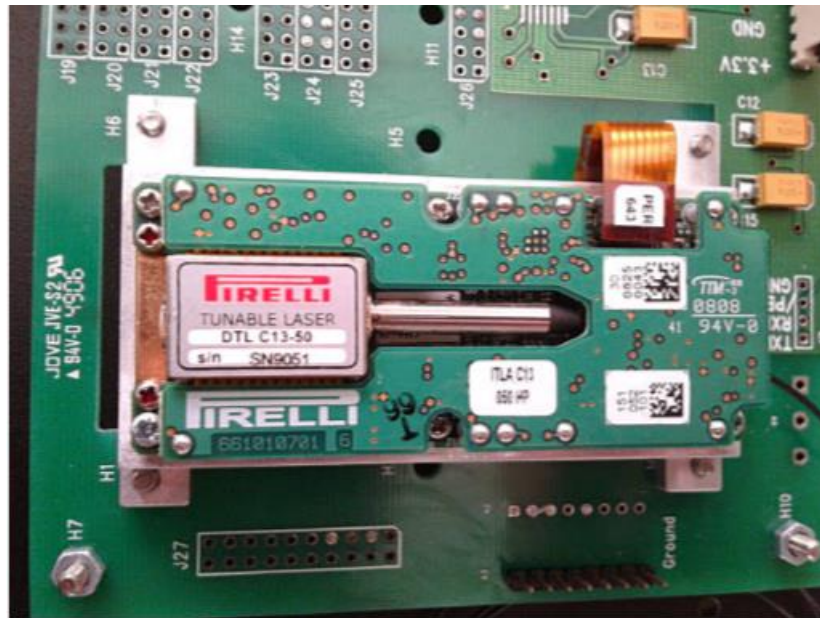


Рисунок А.3 - Лазер Pirelli © ITLA DTL C13-050

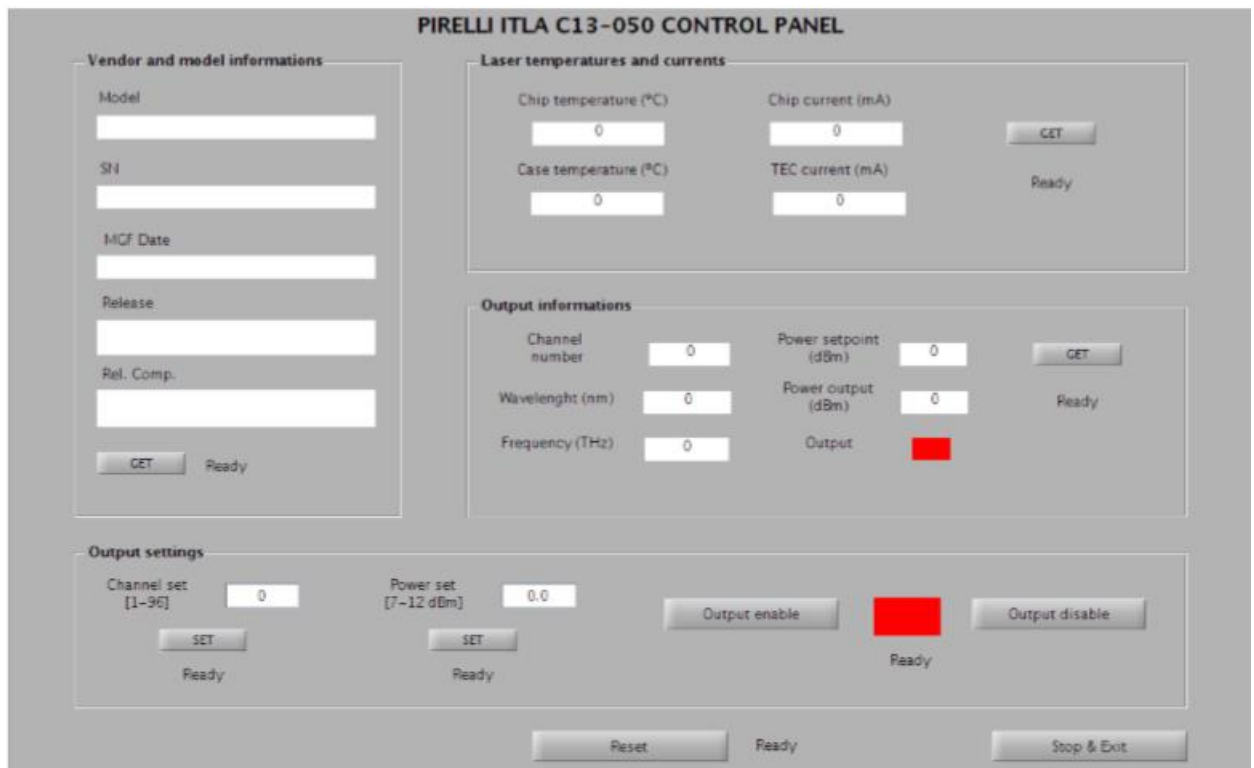


Рисунок А.4 - Лазерный Matlab Pirelli © GUI

Приложение Б

Листинг А.1. Запрос модели

```
% request starting
code0=[48 3 0 0];
fwrite(s, code0);
reply=fread(s,4);

% 1- get model name
code1=[176 11 0 0];
model='';
for i=1:10
    fwrite(s, code1);
    reply= fread(s,4);
    %temp=native2unicode(reply(3:4));
    temp=strcat(native2unicode(reply(3)),native2unicode(
        reply(4)));
    model=strcat(model,temp);
end
% request end
fwrite(s, code1);
reply= fread(s,4);
```