

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего профессионального образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра систем связи

А.В. Трошин

ЦИФРОВОЙ ОПТИЧЕСКИЙ ТРАКТ

Методические рекомендации по
подготовке к лабораторным занятиям

Самара
2016

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,
протокол № , от 00.00.2016 г.

Трошин, А.В.

Цифровой оптический тракт: Методические рекомендации по
подготовке к лабораторным работам. – Самара: ПГУТИ, 2016. – 44 с.

Методические рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям "Цифровой оптический тракт" содержит краткое описание и теоретические сведения, необходимые для выполнения ряда лабораторных работ по курсу "Цифровые многоканальные телекоммуникационные системы" (ЦМТС). Курс ЦМТС преподается студентам очной полной формы обучения по направлению 11.03.02 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" на 3 курсе в 5 и 6 семестрах. Предлагаемые лабораторные работы выполняются на базе свободно распространяемого программного обеспечения OptiPerformer, компании Optiwave System Inc. В описании к каждой работе приведены основные формулы расчета параметров оптических трактов, представлены схема моделирования и порядок выполнения работы, даны требования к содержанию отчета, контрольные вопросы для проверки знаний и список литературы для подготовки к работе.

7. Список литературы

1. Иванов В.И. Применение технологии WDM в современных сетях передачи информации. - Самара, ПГУТИ, 2012

2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / пер. с англ. под ред. Н.Н.Слепова.- М.: Техносфера, 2007.- 448 с.

3. Волоконно-оптические системы передачи: учеб. пособие для вузов / В. И. Иванов, Л. В. Адамович.- Самара: СРТЦ, 2007.- 138 с.

5. Содержание отчета

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Таблицу с исходными данными к расчету.
- 5.3. Таблицу результаты измерений.
- 5.5. Глаз-диаграммы
- 5.6. Выводы.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Что называют дисперсией в ВОСП?
- 6.2. Какие виды дисперсии влияют на передачу сигнала в ВОСП?
- 6.3. К чему приводит накопление дисперсии в оптическом тракте?
- 6.4. От какие факторов зависит величина накопленной в тракте дисперсии?
- 6.5. Как рассчитывается величина накопленной в оптическом тракте дисперсии?
- 6.6. Как оценить максимально допустимую дисперсию?
- 6.7. Перечислите основные способы компенсации хроматической дисперсии.
- 6.8. Как осуществляется компенсация дисперсии при помощи компенсирующих волокон.
- 6.9. Назовите достоинства и недостатки компенсации дисперсии при помощи компенсирующих волокон.
- 6.10. Как рассчитать требуемую длину компенсирующих волокон.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1	4
Лабораторная работа №2	15
Лабораторная работа №3	20
Лабораторная работа №4	30
Лабораторная работа №5	38

Лабораторная работа №1

Основы моделирования цифровых трактов

1. Цель работы

Получить практические навыки моделирования и оценки основных характеристик цифровых оптических трактов в программе OptiPerformer.

2. Общие сведения о работе с программой OptiPerformer

Главное окно программы **OptiPerformer**, рисунок 1.1, состоит из следующих панелей:

- Файловое меню (**File/View/Layout/Help**);
- Схема модели (**Main Layout**);
- Управление моделированием (**Performer Control**);
- Параметры моделирования (**Parameter Settings**).

Меню Файл (**File**) позволяет открыть файл модели (**Open**), закрыть файл (**Close**), выйти из программы (**Exit**).

Меню Вид (**View**) позволяет включать отображение панелей (**Performer Control, Parameter Settings, File Display**), управлять масштабом схемы модели (**Zoom**), включать отображение параметров модели на схеме (**Display Properties**).

Меню Схема (**Layout**) позволяет управлять показом итераций (**Previous Sweep Iteration/Next Sweep Iteration**).

Меню Справка (**Help**) открывает файл справки о программе.

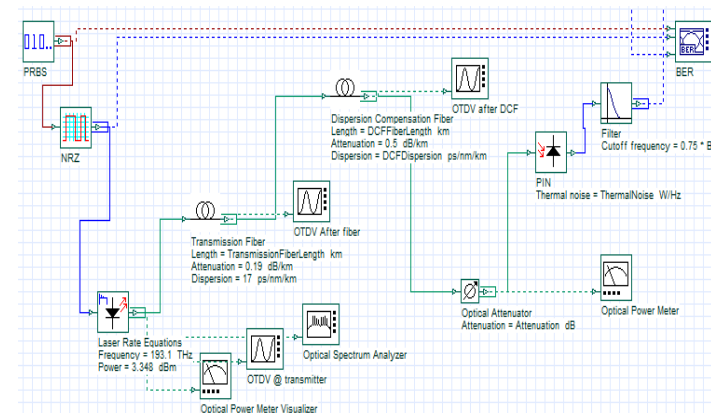


Рисунок 5.1. - Схема модели

4.4. Запустите моделирование и дождитесь его окончания. Зафиксируйте в таблице 5.2 значения уровня мощности на входе оптического тракта (P_S), на выходе тракта (P_R), значение Q -фактора. Зарисуйте глаз-диаграмму сигнала.

4.5. Установите длину компенсирующего ОВ (**DCFFiberLength**) равной нулю. Проведите моделирование и запишите полученное значение Q -фактора в таблицу 5.2. Зарисуйте вид глаз-диаграммы.

4.6 Сравните полученные в пп.4.4 и 4.5 результаты.

Таблица 5.2 - Данные моделирования

L_{SF} , км	
L_{DCF} , км	
P_S , дБм	
P_R , дБм	
Q	
$Q (L_{DCF}=0)$	

4.2. Изучите схему модели. Модель, рисунок 5.1, состоит из:

- Передающей части, состоящей из: источника двоичного сигнала со скоростью 2,5 Гбит/с (**PRBS**); преобразователя в код без возврата к нулю (**NRZ**) и лазерного источника (**Laser**).
- Оптического тракта, состоящего из участка стандартного оптического волокна (**Transmission Fiber**), компенсирующего дисперсию волокна (**Dispersion Compensation Fiber**) и оптического аттенюатора (**Optical Attenuator**).
- Приемной части: *p-i-n* фотодиода (**PIN**); ФНЧ (**Filter**).
- Измерительных устройств: измерителей мощности (**Optical Power Meter**) на входе и выходе оптического тракта, оптического волокна, аттенюатора; анализатора ошибок (**BER**) на выходе приемной части; визуализаторов оптического сигнала (**OTDV**) в различных точках тракта; оптического анализатора спектра (**Optical Spectrum Analyzer**) на входе тракта.

4.3. Выставьте в таблице параметров модели полученные при расчете длины стандартного оптического волокна (**TransmissionFiberLength**), компенсирующего дисперсию ОВ (**DCFFiberLength**). Установите значение затухание аттенюатора (**Attenuation**) равным дополнительным потерям в тракте, согласно расчету. Остальные параметры оставьте без изменений.

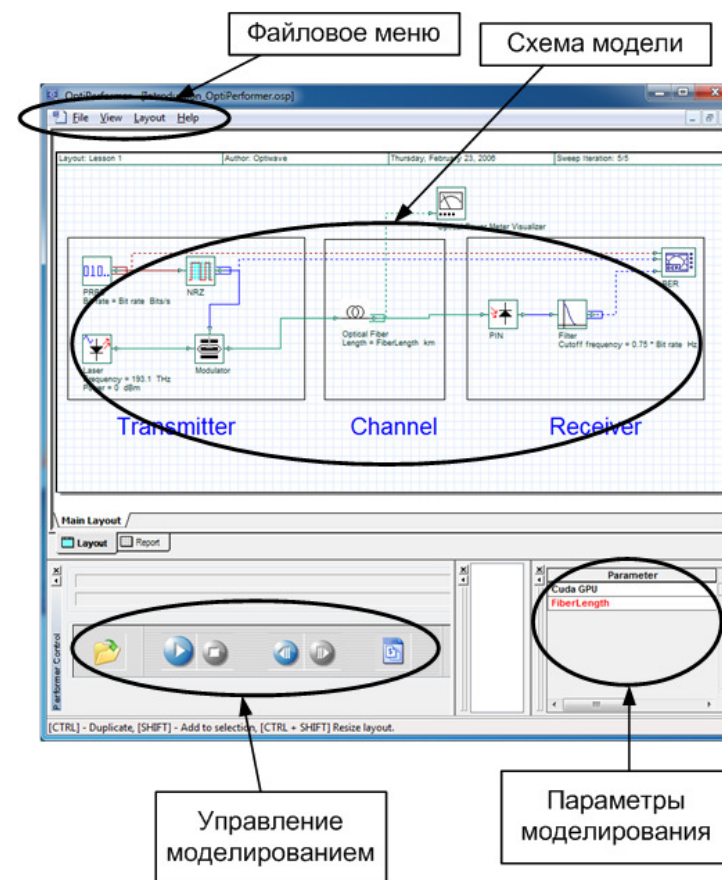



Рисунок 1.1 - Основное окно OptiPerformer

Панель схемы модели (**Main Layout**) показывает структурную схему модели, которая представляет собой блок-диаграмму, составленную из функциональных блоков и блоков измерительных устройств (источника излучения, оптического волокна, измерителя мощности и тд.). Пояснения по назначению основных блоков

рассматриваемой модели даны при описании выполнения лабораторной работы. Также данную панель можно переключить на отображение результатов моделирования (**Report**).

Панель управления моделированием (**Performer Control**) состоит из пиктограмм для быстрого доступа к операциям из файлового меню, их описание приводится в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Элементы управления моделированием

Пиктограмма	Описание
	Открыть файл
	Запуск моделирования
	Прервать моделирование
	Показать предыдущую итерацию
	Показать следующую итерацию

На панели параметров моделирования (**Parameter Settings**) отображается таблица, в которой представлены параметры модели (длина линии, выходная мощность лазера, затухание и тп), рисунок 1.2.

где α_{SF} и α_{DCF} - коэффициенты затухания в стандартном и компенсирующем волокнах, соответственно.

3. Подготовка к работе

3.1. Используя список литературы и лекции подготовить ответы на контрольные вопросы.

3.2. Рассчитать по представленным данным максимально допустимые длины стандартного и компенсирующих волокон в тракте ВОСП.

Используя выражения (5.1) и (5.2), а также соотношение бюджета мощностей, рассчитайте максимально допустимые длины L_{SF} и L_{DCF} в оптическом тракте. Исходные данные для расчета представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. - Параметры расчета

Скорость передачи, B	2,5 Гбит/с
Рабочая длина волны, λ	1550 нм
P_S	0 дБм
P_R	-35 дБм
α_{SF}	0,19 дБ/км
α_{DCF}	0,5 дБ/км
D_{SF}	17 пс/нм/км
D_{DCF}	-200 пс/нм/км
$A_{доп}$	6 дБ

4. Порядок выполнения работы

4.1. Запустите программу **OptiPerformer** на рабочем столе или из меню "Пуск" Windows. Откройте файл **Dispersion_Compensation.osp**.

Лабораторная работа №5

Компенсация дисперсии

1. Цель работы

Получить навыки расчета и моделирования цифрового тракта с компенсацией хроматической дисперсии.

2. Расчет длин стандартного и компенсирующих волокон

Одним из основных способов компенсации накопленной в оптическом тракте ВОСП хроматической дисперсии является включение в тракт компенсирующих волокон с отрицательной дисперсией.

Для наилучшей компенсации в тракте необходимо выполнение следующего соотношения:

$$L_{SF} D_{SF} + L_{DCF} D_{DCF} = 0 \quad (5.1)$$

где L_{SF} - длина стандартного волокна; L_{DCF} - длина компенсирующего волокна; D_{SF} - коэффициент хроматической дисперсии стандартного ОВ; D_{DCF} - коэффициент дисперсии компенсирующего ОВ.

В результате общие потери в ОВ в оптическом тракте будут складываться из потерь в стандартном и компенсирующем волокнах:

$$A_{ОВ} = \alpha_{SF} L_{SF} + \alpha_{DCF} L_{DCF} \quad (5.2)$$

Parameter	Value
Cuda GPU	<input type="checkbox"/>
FiberLength (km)	50
LaserOutputPower (dBm)	0
Attenuation (dB)	0
PINThermalNoise (W/Hz)	8.969999999999999e-024
Wavelength (nm)	1550

Рисунок 1.2. - Пример таблицы вывода параметров

Данные параметры моделирования можно менять, вводя значения в правую колонку таблицы. Тип и значения данных параметров приводятся в описании в ходе выполнения лабораторной работы.

3. Подготовка к работе

3.1. Используя список литературы и лекции подготовить ответы на контрольные вопросы.

3.2. Изучить основные элементы интерфейса программы **OptiPerformer**, описание которых представлено в приложении.

3.3. Изучить порядок запуска моделей в **OptiPerformer** и представление результатов моделирования.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Запустите программу **OptiPerformer** на рабочем столе или из меню "Пуск" Windows. Откройте файл **Introduction_OptiPerformer.osp**.

4.2. Изучите описание модели. Файл содержит простую модель ВОСП, рисунок 1.2, состоящую из передающего устройства (**Transmitter**), главного оптического тракта (**Channel**) и приемного устройства (**Receiver**).

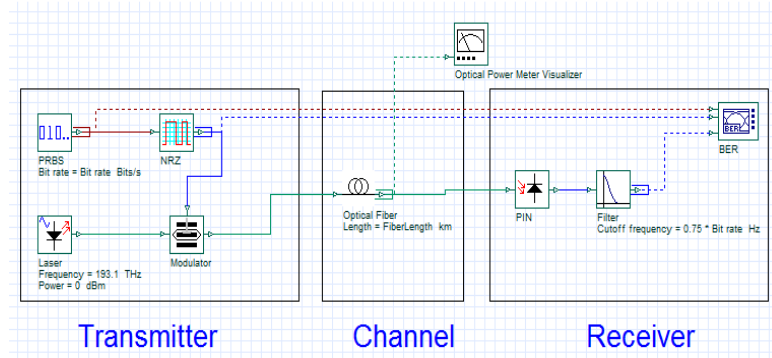


Рисунок 1.2 - Схема модели

Передающее устройство включает:

- источник псевдослучайного двоичного сигнала (**PRBS**), генерирующего псевдослучайный сигнал со скоростью 2,5 Гбит/с;
- преобразователь кода (**NRZ**);
- лазер (**Laser**) с частотой 193,1 ТГц;
- оптический модулятор (**Modulator**).

Оптический тракт состоит из участка оптического волокна (**Optical Fiber**). На выходе тракта подключен измеритель мощности (**Optical Power Meter Visualizer**).

Приемное устройство состоит из:

- p-i-n фотодиода (**PIN**);

7. Список литературы

1. Иванов В.И. Применение технологии WDM в современных сетях передачи информации. - Самара, ПГУТИ, 2012
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи /пер. с англ. под ред. Н.Н.Слепова.- М.: Техносфера, 2007.- 448 с.
3. Волоконно-оптические системы передачи: учеб. пособие для вузов/ В. И. Иванов, Л. В. Адамович.- Самара: СРТЦ, 2007.- 138 с.

6. Контрольные вопросы

6.1. Что называют бюджетом мощности волоконно-оптической системы передачи?

6.2. Как рассчитываются общие потери в линейном тракте?

6.3. Чем определяется максимально допустимое затухание сигнала в линейном тракте?

6.4. Из чего складываются дополнительные потери в линейном тракте?

6.5. Как рассчитывают общие потери в разъёмных и неразъёмных соединениях?

6.6. Как определяются потери в пассивных компонентах?

6.7. Как рассчитывается максимальная длина регенерационного участка ВОСП при заданном запасе системы?

6.8. Что называют штрафом по мощности системы?

6.9. Штрафы от каких факторов могут влиять на бюджет мощности системы?

6.10. Какие факторы определяют величину эксплуатационного запаса системы?

- фильтра нижних частот (**Filter**) с частотой отсечки $0,75 \times 2,5$ ГГц;
- анализатор ошибок (**BER**).

4.3. Запустите моделирование и дождитесь его окончания, после появления сообщения "**Calculation finished!**". Моделирование производится пятью итерациями для длин оптического тракта от 50 до 150 км.

4.4. Запишите значение уровня мощности в начальной точке оптического тракта P_S (**Power**) 0 дБм. Двойным щелчком по блоку измерителя мощности (**Optical Power Meter Visualizer**), откройте его окно, рисунок 1.3.

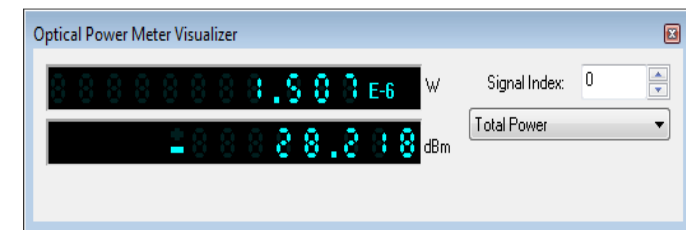


Рисунок 1.3 - Вид окна измерителя мощности

Запишите показания уровня мощности сигнала (**Signal Power**) в конечной точке тракта P_R для всех итераций моделирования при изменении длины оптического волокна (**FiberLength**). Внесите данные в таблицу 1.2.

4.5. Рассчитайте затухание сигнала в тракте для всех длин (А, дБ), данные внесите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. - Параметры тракта

L , км	50	75	100	125	150
P_R , дБм					
A , дБ					
Q					

4.6. Откройте двойным щелчком по анализатору ошибок (**BER Analyzer**), его окно, рисунок 1.4.

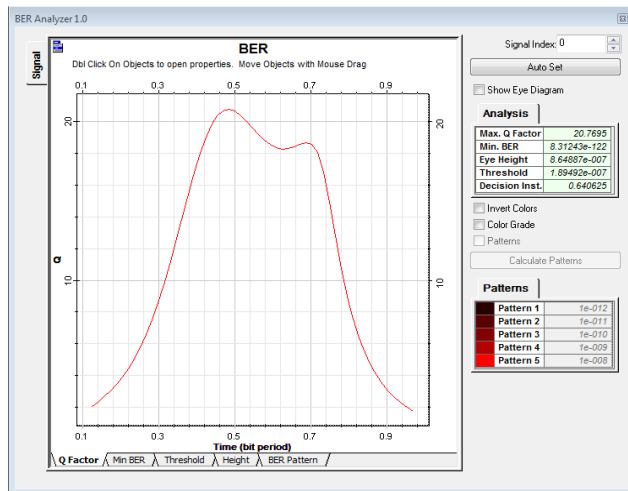


Рисунок 1.4.- Окно анализатора ошибок

увеличьте/уменьшите затухание аттенюатора до величины, при которой значение Q -фактора станет $Q=6\pm 0,1$. Разницу между начальным и конечным затуханием ($\pm \Delta A$) внесите в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 - Данные измерений

P_S , дБм	
P_R , дБм	
Q	
BER	
ΔA	

4.7 Сравните измеренные значения с расчетным из таблицы 2 и сделайте вывод о соответствии результатов.

4.8. Откройте файл **Attenuation Limited Fiber Length-10GB.osp**. Повторите пп.4.2.-4.7 для системы со скоростью 10 Гбит/с.

5. Содержание отчета

5.1. Цель работы.

5.2. Таблицу с исходными данными к расчету.

5.3. Таблицу рассчитанных параметров.

5.4. Таблицу результаты измерений.

5.5. Вид глаз-диаграмм

5.6. Выводы.

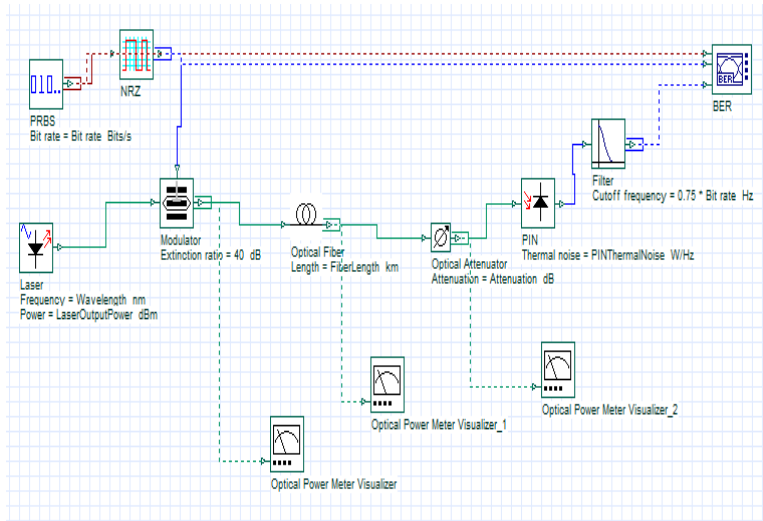


Рисунок 4.1. - Схема модели

4.3. Выставьте в таблице параметров модели длину оптического волокна (**FiberLength**) согласно вашим расчетным данным. Установите значение затухание attenuатора (**Attenuation**) равным дополнительным потерям в тракте, согласно расчету. Остальные параметры оставьте без изменений.

4.4. Запустите моделирование и дождитесь его окончания. Зафиксируйте в таблице 4.3 значения уровня мощности на входе оптического тракта (P_S), на выходе тракта (P_R), значение Q -фактора и коэффициента ошибок (**BER**).

4.5 Зарисуйте глаз-диаграмму сигнала.

4.6. Определите есть ли у системы дополнительный запас по мощности ($Q > 6$) или система работает за допустимыми пределами ($Q < 6$). В этих случаях

Внесите в таблицу 1.2 максимальные значения Q -фактора (**Max. Q Factor**) в точке принятия решения. Зарисуйте диаграмму изменения Q -фактора от положения точки принятия решения для максимальной длины тракта.

4.7. Включите в анализаторе режим показа глаз-диаграммы (**Show Eye Diagram**), рисунок 1.5. Зарисуйте два ее вида: для максимальной и минимальной протяженностей оптического тракта.

4.8. Закройте программу и представьте все предварительные данные преподавателю.

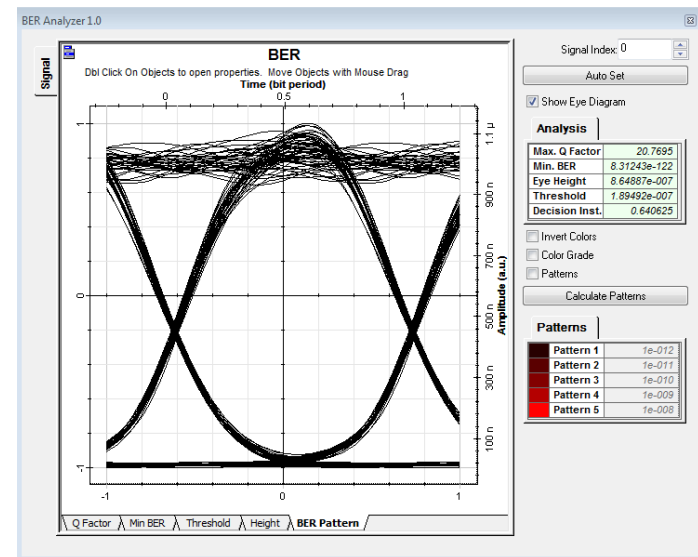


Рисунок 1.5. - Глаз-диаграмма

5. Содержание отчета

5.1. Цель работы.

5.2. Таблица 1.1. и графики зависимостей A , Q от протяженности тракта L .

5.3. Диаграмма изменения Q -фактора.

5.4. Глаз-диаграммы для максимальной и минимальной длины оптического тракта.

5.5. Выводы по результатам моделирования.

6. Контрольные вопросы

6.1. Какие спектральные диапазоны используются в современных ВОСП?

6.2. Из каких основных элементов состоит оптический тракт ВОСП?

6.3. Назначение передающего оптического модуля (ПОМ) и его основные узлы.

6.4. Назовите основные характеристики ПОМ.

6.5. Что называют главным оптическим трактом (ГОТ)?

6.6. Назначение приемного оптического тракта (ПРОМ) и его основные узлы?

6.7. Назовите основные характеристики ПРОМ.

6.8. Перечислите основные типы искажений и помех, воздействующие на сигнал в тракте ВОСП.

6.9. Дайте определение Q -фактора.

Таблица 4.2 - Результаты расчетов

A_n	
A_r	
A_{don}	
L_{max} , км	

4. Порядок выполнения работы

4.1. Запустите программу **OptiPerformer** на рабочем столе или из меню "Пуск" Windows. Откройте файл **Attenuation Limited Fiber Length-2.5GB.osp**.

4.2. Изучите схему модели. Модель, рисунок 4.1, состоит из:

- Передающей части, состоящей из: источника двоичного сигнала со скоростью 2,5 Гбит/с (**PRBS**); преобразователя в код без возврата к нулю (**NRZ**); лазерного источника (**Laser**) и модулятора по интенсивности (**Modulator**).
- Оптического тракта, состоящего из участка оптического волокна (**Optical Fiber**) и оптического аттенюатора (**Optical Attenuator**).
- Приемной части: *p-i-n* фотодиода (**PIN**); ФНЧ (**Filter**).
- Измерительных устройств: измерителей мощности (**Optical Power Visualizer**) на выходе передающей части, оптического волокна, аттенюатора; анализатора ошибок (**BER**) на выходе приемной части.

3. Подготовка к работе

3.1. Используя список литературы и лекции подготовить ответы на контрольные вопросы.

3.2. Рассчитать по представленным данным максимально допустимые длины регенерационных участков для систем со скоростями 2,5 Гбит/с и 10 Гбит/с .

Используя приведенные соотношение и параметры системы из таблицы 4.1, рассчитайте максимально допустимую длину ОВ (N - последняя цифра зачетной книжки, M - предпоследняя).

Аналогичным образом рассчитайте максимально допустимую длину ОВ для системы со скоростью 10 Гбит/с.

Полученные данные внесите в таблицу 4.2.

Таблица 4.1. - Исходные данные к расчету

Скорость передачи, B	2,5 Гбит/с
Рабочая длина волны, λ	1550 нм
P_S	-3 дБм
P_R	-30 дБм
P_R	-27 дБм (10 Гбит/с)
α	0,19 дБ/км
a_n	0,1 дБ
N_n	$N \times 2 + 2$
a_r	0,5 дБ
N_r	2 (M -чет) 4 (M -неч)
A_p	0
P_n	1 дБ
A_s	4 дБ

6.10. Перечислите основные характеристики ГОТ.

6.11. Дайте определение коэффициенту ошибок (BER).

6.12. Как связаны между собой BER и Q -фактор?

6.13. Что представляет глаз-диаграмма?

6.14. Каким образом по глаз-диаграмме можно оценить искажение сигнала в тракте ВОСП?

7. Список литературы

1. Иванов В.И. Применение технологии WDM в современных сетях передачи информации. - Самара, ПГУТИ, 2012

2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи /пер. с англ. под ред. Н.Н.Слепова.- М.: Техносфера, 2007.- 448 с.

3. Волоконно-оптические системы передачи: учеб. пособие для вузов/ В. И. Иванов, Л. В. Адамович.- Самара: СРТЦ, 2007.- 138 с.

Потери в неразъемных соединениях рассчитываются как:

$$A_n = a_n \cdot N_n \quad (4.4)$$

где a_n - средние потери в неразъемном соединении; N_n - общее число неразъемных соединений в тракте.

Потери в разъемных соединениях рассчитываются аналогичным образом:

$$A_r = a_r \cdot N_r \quad (4.5)$$

где a_r - средние потери в разъемном соединении; N_r - общее число разъемных соединений в тракте.

Потери в пассивных компонентах (A_p) складываются из отдельных потерь от всех пассивных компонентов, входящих в состав оптического тракта (изоляторов, разветвителей, фильтров и др.).

Сумма штрафов по мощности (P_n) складывается из штрафов по мощности от отдельных негативных факторов, оказывающих влияние на передачу сигнала в системе (дисперсии, шумов, искажений и тд).

Величина эксплуатационного запаса системы (A_s) определяется исходя из вида и условий прокладки оптического кабеля, протяженности линейного тракта, сложности эксплуатации и тп.

Лабораторная работа №4

Оценка и проверка бюджета мощности системы

1. Цель работы

Получить навыки расчета и оценки бюджета мощности волоконно-оптической системы передачи.

2. Расчет бюджета мощности системы

Для работоспособности оптической системы передачи необходимо выполнение следующего соотношения ("бюджета мощности"):

$$P_S - P_R \geq \alpha L + A_{\text{доп}} \quad (4.1)$$

где P_S - уровень мощности источника излучения; P_R - чувствительность приемного устройства; L - длина ОВ; α - коэффициент затухания ОВ; $A_{\text{доп}}$ - дополнительные потери.

Дополнительные потери складываются из следующих факторов:

$$A_{\text{доп}} = A_n + A_r + A_p + P_n + A_s \quad (4.2)$$

A_n - потери в неразъемных соединениях; A_r - потери в разъемных соединениях; A_p - потери в остальных пассивных компонентах тракта; P_n - сумма штрафов по мощности; A_s - дополнительный эксплуатационный запас системы.

Лабораторная работа №2

Измерение чувствительности приемного оптического модуля

1. Цель работы

Получить практические навыки по расчету и измерению чувствительности приемного оптического модуля волоконно-оптической системы передачи.

2. Расчет чувствительности приемного оптического модуля при воздействии теплового шума.

Чувствительностью ПРОМ называют минимальный уровень мощности сигнала на входе, при котором значение коэффициента ошибок соответствует допустимому.

При воздействии теплового шума, чувствительность ПРОМ можно оценить по формуле:

$$P_R = Q \frac{\sigma_T}{R} \quad (2.1)$$

где Q - требуемое значение Q -фактора;

σ_T - среднеквадратическое значение тока теплового шума, А;

R - чувствительность фотодиода, А/Вт.

Значение среднеквадратический тока от теплового шума, можно рассчитать как:

$$\sigma_T^2 = W_T \Delta F \quad (2.2)$$

где W_T - спектральная плотность мощности теплового шума, Вт/Гц; ΔF - ширина полосы пропускания ПРОМ, Гц.

3. Подготовка к работе

3.1. Используя список литературы и лекции подготовить ответы на контрольные вопросы.

3.2. Рассчитать по представленным данным чувствительность приемного оптического модуля при воздействии теплового шума.

Данные для расчета чувствительности приведены в таблице 2.1. (N - последняя цифра зачетной книжки, M - предпоследняя).

Таблица 2.1. - Параметры расчета

Скорость передачи, B	2,5 Гбит/с
Полоса пропускания, ΔF	$1,65 \times B$
Спектральная плотность шума, W_T	$N, M \times 10^{-22}$ Вт/Гц
Q -фактор	6
Чувствительность фотодиода, R	1 А/Вт

4. Порядок выполнения работы

4.1. Запустите программу **OptiPerformer** на рабочем столе или из меню "Пуск" Windows. Откройте файл **Receiver_Sensitivity.osp**.

4.2. Изучите схему модели. Модель ВОСП, рисунок 2.1, состоит из:

- Лазера (**Laser**);
- Модулятора **NRZ (Modulator)**;
- Оптического Атенюатора (**Optical Attenuator**);
- р-і-п фотодиода (**Photodetector PIN**) с ФНЧ;
- Измерителей мощности и анализатора ошибок.

7. Список литературы

1. Иванов В.И. Применение технологии WDM в современных сетях передачи информации. - Самара, ПГУТИ, 2012

2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи /пер. с англ. под ред. Н.Н.Слепова.- М.: Техносфера, 2007.- 448 с.

3. Волоконно-оптические системы передачи: учеб. пособие для вузов/ В. И. Иванов, Л. В. Адамович.- Самара: СРТЦ, 2007.- 138 с.

6.8. Как определяют ширину спектра излучения по спектральной характеристике источника?

6.9. Как рассчитывается ширина спектра излучения в случае, когда ширина спектра источника значительно превышает спектр сигнала?

6.11. Почему при непосредственной модуляции источника возникает паразитная частотная модуляция импульсов?

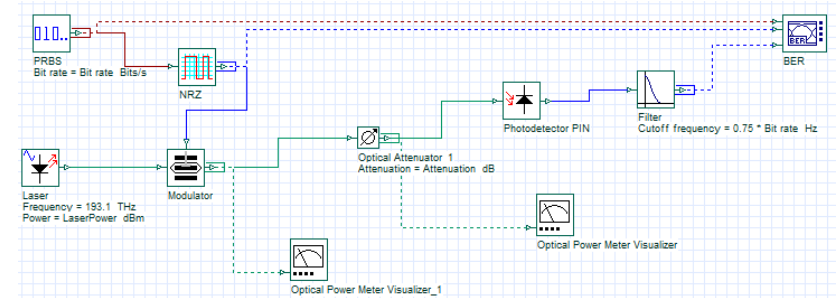


Рисунок 2.1. - Схема модели

4.3. Выставьте начальное значение затухание аттенюатора (**Attenuation**) - 15 дБ, значение спектральной плотности мощности теплового шума (**ThermalNoise**) как в вашем расчете. Остальные параметры изменять не следует. Запишите значение всех параметров.

4.4. Запустите моделирование и дождитесь его окончания. Откройте анализатор ошибок и зафиксируйте значение Q -фактора.

4.5. Повторяйте пункты 4.3 и 4.4, меняя затухание аттенюатора до тех пор, пока значение Q -фактора не станет равным $6 \pm 0,1$.

4.6. Откройте измеритель мощности на выходе аттенюатора и запишите значение уровня мощности (чувствительность ПРОМ).

4.7. Сравните полученное значение чувствительности с расчетным и сделайте вывод о соответствии результатов.

5. Содержание отчета

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Подробный расчет чувствительности ПРОМ.
- 5.3. Параметры моделирования.
- 5.4. Результаты измерений.
- 5.5. Выводы

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Из каких основных узлов состоит ПРОМ? Их назначение.
- 6.2. Какие требования предъявляют к ПРОМ современных ВОСП?
- 6.3. Перечислите основные характеристики ПРОМ.
- 6.4. Какими факторами ограничивается чувствительность ПРОМ?
- 6.5. Какова природа теплового шума?
- 6.6. В чем причины появления дробового шума?
- 6.7. Как рассчитывается величина теплового шума?
- 6.8. Как рассчитывается величина дробового шума?
- 6.9. Поясните расчет чувствительности ПРОМ при воздействии теплового шума.
- 6.10. Что ограничивает максимальный уровень мощности ПРОМ?

5. Содержание отчета

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Таблицу с исходными данными к расчету.
- 5.3. Таблицу рассчитанных параметров.
- 5.4. Результаты измерений.
- 5.5. Выводы.

6. Контрольные вопросы

- 6.1. Что называют дисперсией? Какие виды дисперсии влияют на искажения сигнала в оптическом тракте?
- 6.2. Почему дисперсия вызывает ухудшение качества при приеме сигнала?
- 6.3. Как определяется среднеквадратическая длительность оптических импульсов (RMS)?
- 6.4. Как определяется длительность импульсов по уровню половинной мощности от максимальной (FWHM)?
- 6.5. Как рассчитывается уширение оптических импульсов в тракте только с линейными искажениями?
- 6.6. Как связаны между собой длительности импульсов RMS и FWHM?
- 6.7. Какие факторы оказывают влияние на степень искажения оптических импульсов в трактах ВОСП?

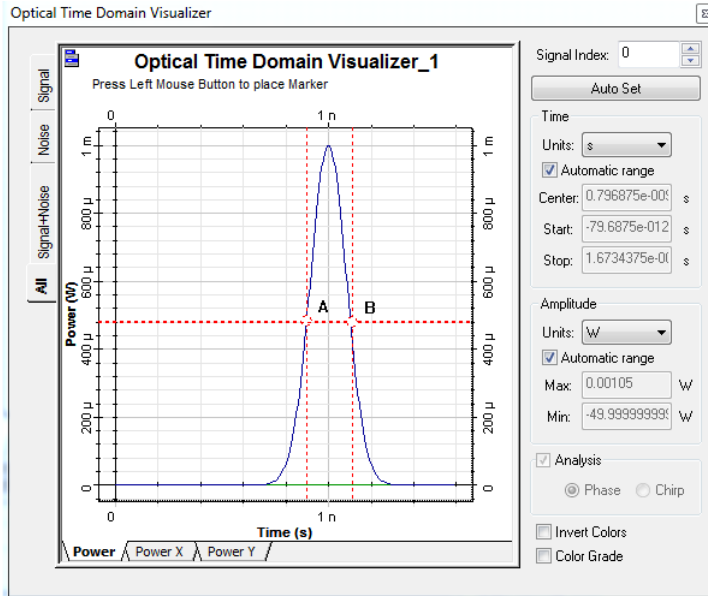


Рисунок 3.3 - Окно устройства отображения оптического сигнала

4.6 Все полученные данные занесите в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 - Данные измерений

$\Delta\lambda_{FWHM}$, нм	
τ_{in} , пс	
τ_{out} , пс	

4.7 Сравните измеренные значения с расчетным из таблицы 3.2 и сделайте вывод о соответствии результатов.

7. Список литературы

1. Иванов В.И. Применение технологии WDM в современных сетях передачи информации. - Самара, ПГУТИ, 2012
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи /пер. с англ. под ред. Н.Н.Слепова.- М.: Техносфера, 2007.- 448 с.
3. Волоконно-оптические системы передачи: учеб. пособие для вузов/ В. И. Иванов, Л. В. Адамович.- Самара: СРТЦ, 2007.- 138 с.

Лабораторная работа №3

Исследование искажений импульсов в оптическом тракте

1. Цель работы

Получить навыки расчета и измерения дисперсионных искажений оптических импульсов в оптическом тракте.

2. Расчет дисперсионных искажений импульсов в оптическом тракте

Если спектральная ширина источника излучения значительно меньше эффективной ширины спектра сигнала, то передаточную характеристику оптического тракта можно приблизительно представить в виде функции Гаусса:

$$H(\omega) = \exp(-\Delta\sigma^2\omega^2) \quad (3.1)$$

где $\Delta\sigma$ - среднеквадратическое уширение оптического импульса.

Среднеквадратическое уширение импульса в оптическом тракте определяется по формуле:

$$\Delta\sigma = LD(\lambda)\Delta\lambda \quad (3.3)$$

где L - длина оптического волокна; $D(\lambda)$ - коэффициент хроматической дисперсии ОВ на рабочей длине волны λ ; $\Delta\lambda$ - среднеквадратическая ширина спектра источника излучения.

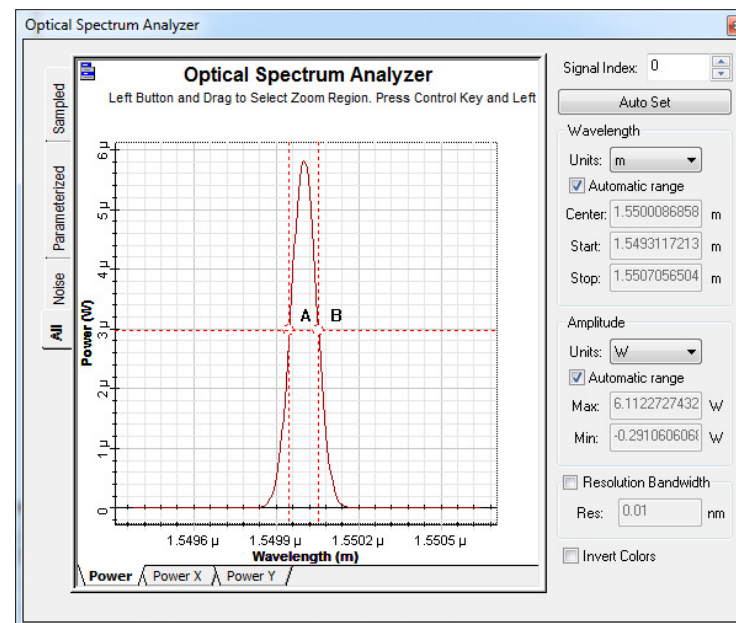


Рисунок 3.2 - Окно анализатора спектра

4.5. Откройте окно первого устройства отображения оптического сигнала на входе ОВ, рисунок 3.3. Измерьте длительность оптического импульса по половинной мощности на входе тракта (τ_{in}). Затем аналогично измерьте длительность импульса на выходе (τ_{out}) при помощи второго устройства отображения.

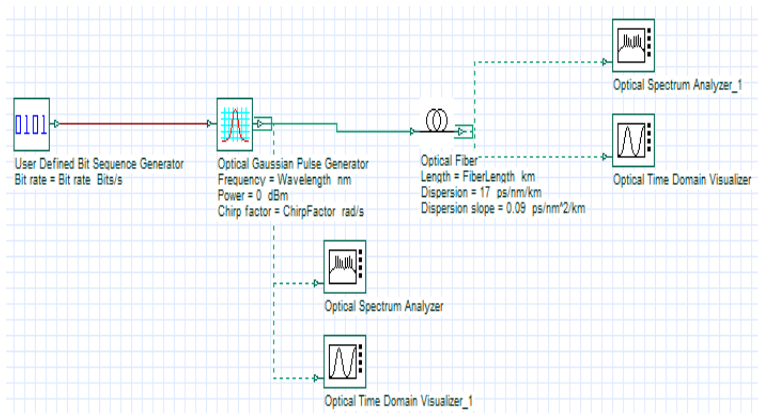


Рисунок 3.1. - Схема модели

4.3. В параметрах модели выставите значения длины оптического волокна (**FiberLength**) и коэффициента частотной модуляции (**ChirpFactor**) согласно расчетным.

4.4. Запустите моделирование и дождитесь его окончания. Откройте окно оптического анализатора спектра, рисунок 3.2. Измерьте ширину спектра излучения по половинной от максимальной мощности ($\Delta\lambda_{FWHM}$). (Измерения можно производить при помощи маркеров **A** и **B**. Для этого нужно вызвать меню левым щелчком мыши по спектральной диаграмме и выбирать в пункт **Marker**. Затем установить маркеры **A** и **B** на переднем и заднем фронтах, соответственно. При выборе из этого же меню пункта **Layout** будет выведено расстояние между меркерами).

Оптический импульс от источника излучения с непосредственной модуляцией будет являться частотно-модулированным. Степень частотной модуляции характеризуют при помощи коэффициента частотной модуляции C , рад/с.

Среднеквадратическую ширину спектра излучения источника можно рассчитать по формуле:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 \sqrt{1+C^2}}{2\pi c \sigma_{in}} \quad (3.4)$$

где c - скорость света в вакууме; σ_{in} - среднеквадратическая длительность импульса на входе тракта; λ - центральная (рабочая) длина волны излучения источника.

Среднеквадратическая длительность импульса на выходе тракта определяется из выражения:

$$\sigma_{out} = \sqrt{\sigma_{in}^2 + \Delta\sigma^2} \quad (3.5)$$

На практике, при проведении измерений, вместо среднеквадратической длительности (RMS) используют длительность по половинной мощности от максимальной (FWHM). Для гауссовских импульсов эти длительности связаны соотношением:

$$\tau = 1,665\sigma \quad (3.6)$$

Ширины спектров RMS и FWHM связаны аналогичным образом.

3. Подготовка к работе

3.1. Используя список литературы и лекции подготовить ответы на контрольные вопросы.

3.2. Рассчитать по представленным данным параметры гауссовского импульса на входе и выходе оптического тракта.

Данные для расчета параметров импульса представлены в таблице 3.1 (N - последняя цифра зачетной книжки, M - предпоследняя).

Таблица 3.1. - Исходные данные к расчету

Скорость передачи, B	2,5 Гбит/с
Рабочая длина волны, λ	1550 нм
Длительность импульса на входе, τ_{in}	0,5/ B
Коэффициент частотной модуляции, C	-6 рад/с
Длина ОВ, L	30+ $N \times 10 + M$, км
Коэффициент хроматической дисперсии, $D(\lambda)$	17 пс/(нм·км)

Рассчитанные данные параметров импульса на входе и выходе оптического тракта внесите в таблицу 3.2

Таблица 3.2 - Результаты расчетов

L , км	
τ_{in} , пс	
σ_{in} , пс	
$\Delta\lambda$, нм	
$\Delta\lambda_{FWHM}$, нм	
$\Delta\sigma$, пс	
σ_{out} , пс	
τ_{out} , пс	

4. Порядок выполнения работы

4.1. Запустите программу **OptiPerformer** на рабочем столе или из меню "Пуск" Windows. Откройте файл **Gaussian_Pulse_Propagation.osp**.

4.2. Изучите схему модели. Модель, рисунок 4.1, состоит из:

- Источника двоичного сигнала со скоростью 2,5 Гбит/с (**Bit Sequence Generator**);
- Оптического генератора гауссовских импульсов (**Optical Gaussian Pulse Generator**);
- Простого оптического тракта, состоящего из участка оптического волокна (**Optical Fiber**);
- Оптического анализатора спектра (**Optical Spectrum Analyzer**) на выходе ОВ;
- Устройств отображения оптического сигнала (**Optical Time Domain Visualizer**) на входе и выходе ОВ.