

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

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

М.В. ДАШКОВ

**КОМПЕНСАЦИЯ ХРОМАТИЧЕСКОЙ
ДИСПЕРСИИ НА ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ
СЕТЯХ**

Методические указания
по выполнению лабораторной работы

Самара
2017

УДК 621.39.082.5

ББК 621.391.63

Д

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ, протокол
№ 87 от 13.06.2017 г.

Рецензент:

профессор, кафедра систем связи ФГБОУ ВО ПГУТИ,
д.т.н., Васин Н.Н.

Дашков, М.В.

Д Компенсация хроматической дисперсии на оптических транспортных сетях: методические указания по выполнению лабораторной работы/ М.В. Дашков. – Самара: ПГУТИ, 2017. –14 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал, посвященный компенсации хроматической дисперсии на оптических транспортных сетях. В результате выполнения лабораторной работы студенты получают знания о дисперсионных искажениях сигнала в оптическом тракте и навыки расчета параметров компенсирующих устройств. В ходе работы исследуются искажения сигнала, вызванные хроматической дисперсией в оптическом волокне, и зависимость качества передачи сигнала от величины остаточной недокомпенсированной дисперсии.

Методические указания предназначены для студентов 4 курса, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика, и предназначены для проведения лабораторных занятий.

©, Дашков М.В., 2017

Цель работы: Изучение методов и принципов компенсации искажений оптического сигнала, вызванного хроматической дисперсией оптического волокна. Изучение принципов расчета компенсирующих устройств на основе волокна компенсации дисперсии. Исследование зависимости качества передачи оптического сигнала от величины остаточной дисперсии.

Литература

1. Андреев А.А., Бурдин, А. В.; Портнов, Э. Л.; Кочановский, Л. Н.; Попов, В. Б. Направляющие системы электросвязи. Т. 2. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация/ ПГУТИ, Самара, 2017. - Электрон. версия печ. издания 2016 г.
2. Фокин В.Г., Ибрагимов Р.З., Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи, СибГУТИ, 2016. Эл. доступ: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?&id=54790>
3. Листвин В.Н., Трещиков В.Н. DWDM системы. – Москва.: Издательский дом “Наука”, 2013. – 300 с.

Контрольные вопросы

1. Хроматическая дисперсия в оптическом волокне. Причины возникновения. Основные параметры дисперсионных характеристик.
2. Классификация оптических волокон согласно рек. МСЭ-Т. Нормативные значения хроматической дисперсии.
3. Ограничение на ВОЛП, вызванное хроматической дисперсией. Расчет максимальной протяженности регенерационного участка.
4. Классификация методов компенсации хроматической дисперсии
5. Оптическое волокно компенсации дисперсии (DCF). Основные характеристики
6. Расчет требуемой длины волокна компенсации (DCF)
7. Особенности компенсации дисперсии на ВОЛП со спектральным уплотнением
8. Параметры промышленных модулей компенсации дисперсии на основе DCF.
9. Размещение модулей компенсации на регенерационном участке ВОЛП. Расчет остаточной некомпенсированной дисперсии
10. Принципы компенсации хроматической дисперсии на основе волоконных брэгговских решеток
11. Параметры промышленных модулей компенсации дисперсии на основе волоконных брэгговских решеток
12. Электронные методы компенсации хроматической дисперсии.
13. Глаз-диаграмма. Идентификация глаз-диаграммы. Маска глаз-диаграммы
14. Определение штрафа на раскрытие глаз-диаграммы

Порядок выполнения работы

1. Загрузите программное обеспечение OptiPerformer.
2. Откройте файл исследуемой схемы:

Lab_03_Dispersion_Compensation_Gauss.osp

Для этого в панели управления нажмите кнопку со значком папки и в появившемся окне найдите требуемый файл.



3. Исследуемая схема приведена на рис. 1

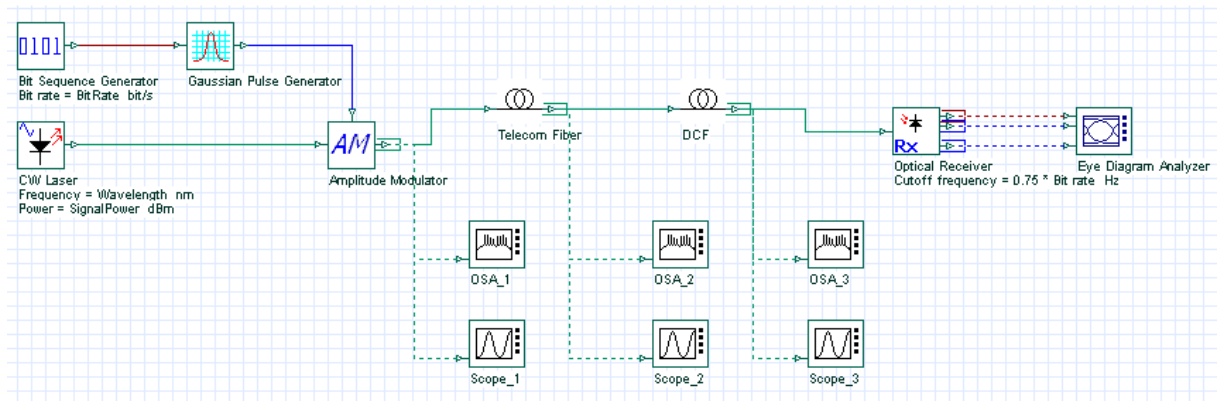




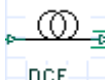


Рисунок 1 – Схема участка компенсации дисперсии

Излучение лазерного диода , работающего в непрерывном режиме, модулируется импульсом гауссовой формы  в амплитудном модуляторе .

Оптический тракт состоит из пролета телекоммуникационного оптического волокна  и участка волокна компенсации дисперсии .

4. Установка параметров моделирования производится в меню, расположенном в нижнем правом углу (см. рис. 2).

Parameter	Value
Cuda GPU	<input type="checkbox"/>
BitRate (bits/s)	10e+009
LengthDCF (km)	0
LengthTF (km)	100
AttenuationTF (dB/km)	0.2
AttenuationDCF (dB/km)	0.4
DispersionTF (ps/nm/km)	16.5
DispersionDCF (ps/nm/km)	-100
SlopeTF (ps/nm ² /km)	0.08
SlopeDCF (ps/nm ² /km)	-0.2
SignalPower (mW)	1
Wavelength (nm)	1550

Рисунок 2 – Меню установки параметров исследуемой схемы

Соответствие параметров линии используемым обозначениям приведено в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Обозначение	
Скорость передачи	BitRate	B
Длина волны излучения	Wavelength	λ
Длина телекоммуникационного волокна	LengthTF	L_{TF}
Длина волокна компенсации дисперсии	LengthDCF	L_{DCF}
Коэффициент затухания телекоммуникационного волокна	AttenuationTF	α_{TF}
Коэффициент затухания волокна компенсации дисперсии	AttenuationDCF	α_{DCF}
Коэффициент хроматической дисперсии телекоммуникационного волокна	DispersionTF	D_{TF}
Коэффициент хроматической дисперсии волокна компенсации дисперсии	DispersionDCF	D_{DCF}
Наклон дисперсионной характеристики телекоммуникационного волокна	SlopeTF	S_{TF}
Наклон дисперсионной характеристики волокна компенсации дисперсии	SlopeDCF	S_{DCF}
Мощность оптического сигнала	SignalPower	P

5. Выполните исследование дисперсионных искажений оптического импульса

5.1. Выставьте следующие параметры

Таблица 2

Параметр	Значение	Ед. изм.
BitRate	10e+009	бит/с
Wavelength	1550	нм
LengthTF	20	км
LengthDCF	0	км
AttenuationTF	0	дБ/км
AttenuationDCF	0	дБ/км
DispersionTF	$10+2 \cdot (n-4) *$	пс/(нм·км)
DispersionDCF	$-100-5 \cdot (n-5) *$	пс/(нм·км)
SlopeTF	0.08	пс/(нм ² ·км)
SlopeDCF	-0.2	пс/(нм ² ·км)
SignalPower	1	мВт

*n - номер бригады

При этом будут учитываться только дисперсионные искажения, без учета влияния затухания.

5.2. Запустите процесс моделирования, нажав на кнопку “Старт”



5.3. Выполните анализ и измерение параметров оптического импульса на выходе модулятора.

Выберите осциллограф Score_1 

В появившемся окне наведите курсор на график и нажмите правую кнопку мыши, появится инструментальное меню.



В инструментальном меню выберите пункт “Info”.

Растяните окно осциллографа так, чтобы одновременно можно было анализировать импульс и снимать показания в информационном окне.

Для измерения пиковой мощности импульса выберите в инструментальном меню пункт “Маркер” и наведите курсор на максимальный уровень импульса.

Для получения точного результата в инструментальном меню выберите пункт “Zoom” и отмасштабируйте график.

Для корректировки позиции маркера в инструментальном меню выберите пункт “Select”, наведите курсор на маркер и удерживая левую кнопку мыши перемещайте маркер.

В информационном окне “Info-Window” приводятся данные маркера: первое значение соответствует шкале времени второе значение соответствует мощности сигнала. Единицы измерения указываются в панели справа (по умолчанию по шкале времени измерения производятся в секундах, по шкале мощности – в Ваттах).

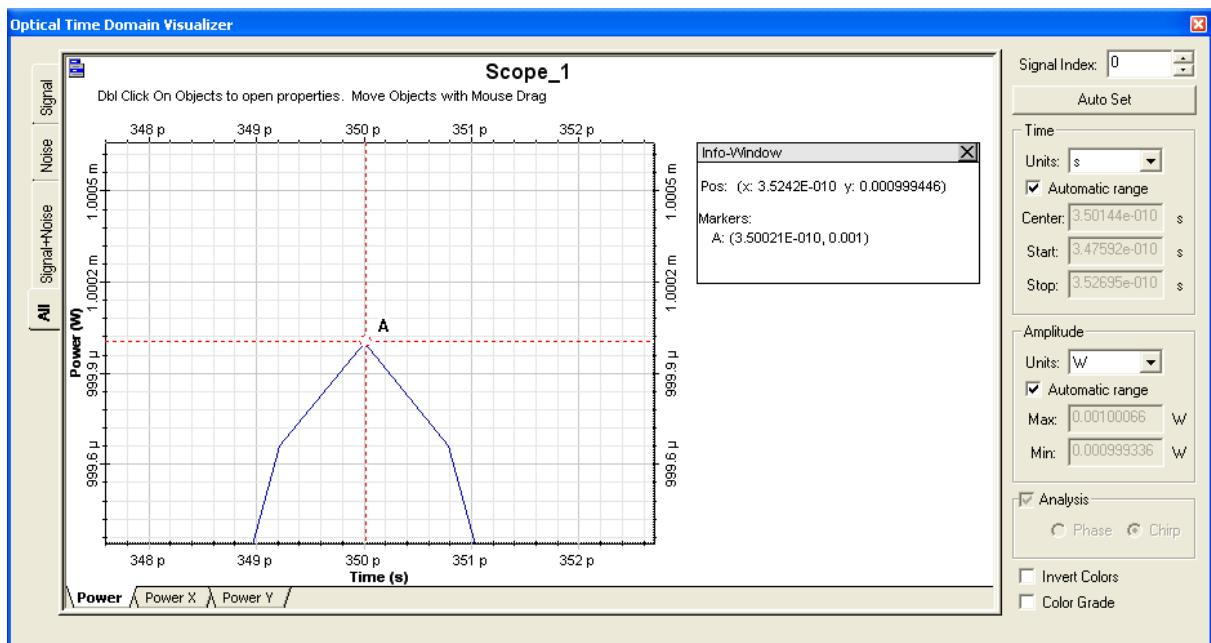


Рисунок 2 – Измерение мощности оптического импульса

Полученное значение мощности P занесите в таблицу 3, в ячейку, соответствующую $L = 0$.

Выполните измерение полной ширины импульса по половине амплитуды.

Выставьте дополнительно два маркера В и С таким образом, чтобы они находились на уровне, соответствующему половине максимальной

мощности. В информационном окне ширине импульса соответствует позиция В-С (первое значение) (см. рис. 3).

Полученное значение T занесите в таблицу 3, в ячейку, соответствующую $L = 0$.

Выполните анализ фазы оптического импульса и его чирпа.

Выберите закладку “PowerX” и в панели справа поставьте галочку в окне “Analysis”. При анализе фазы выбирайте пункт “Phase” и для анализа чирпа – “Chirp”, соответственно.

Схематично зарисуйте зависимости для фазы и чирпа.

Для сигнала на выходе идеального модулятора фаза сигнала не меняется и чирп отсутствует $C = 0$.

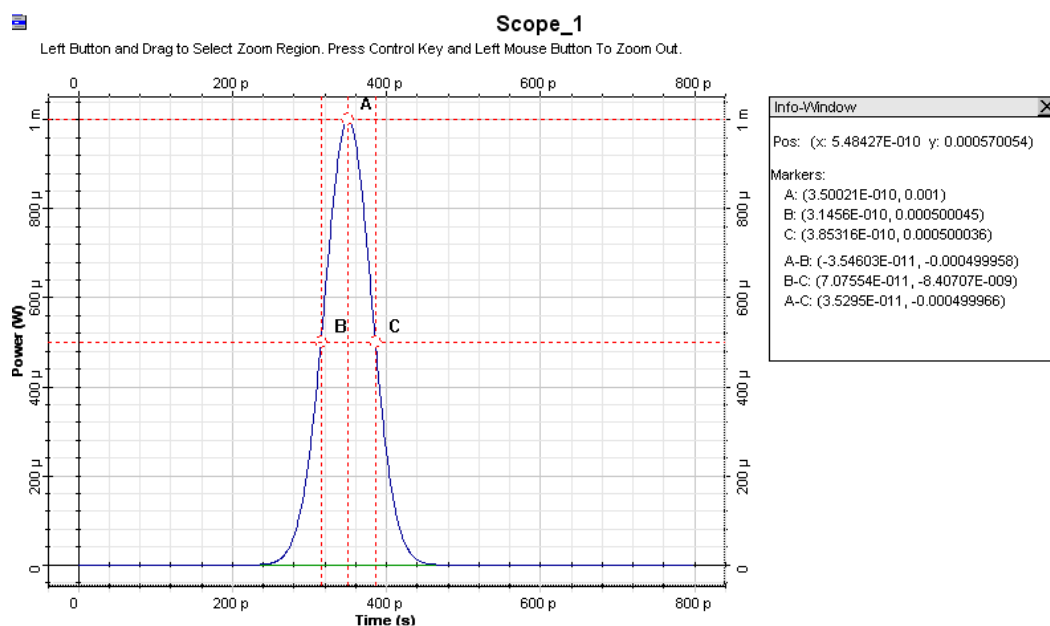


Рисунок 3 – Измерение длительности оптического импульса

Выполните измерение спектральных характеристик сигнала.

Выберите оптический анализатор спектра OSA_1



Настройте в панели справа единицы измерения: по оси X – частота в Гц и по оси Y- мощность в Вт.

Произведите измерение ширины спектра по уровню половины максимального значения. Операции аналогичны измерению длительности импульса. Полученные результаты в информационном окне: позиция В-С, первое значение (Гц).

Полученные результат измерения $\Delta\lambda$ занесите в табл. 3, в ячейку, соответствующую $L = 0$.

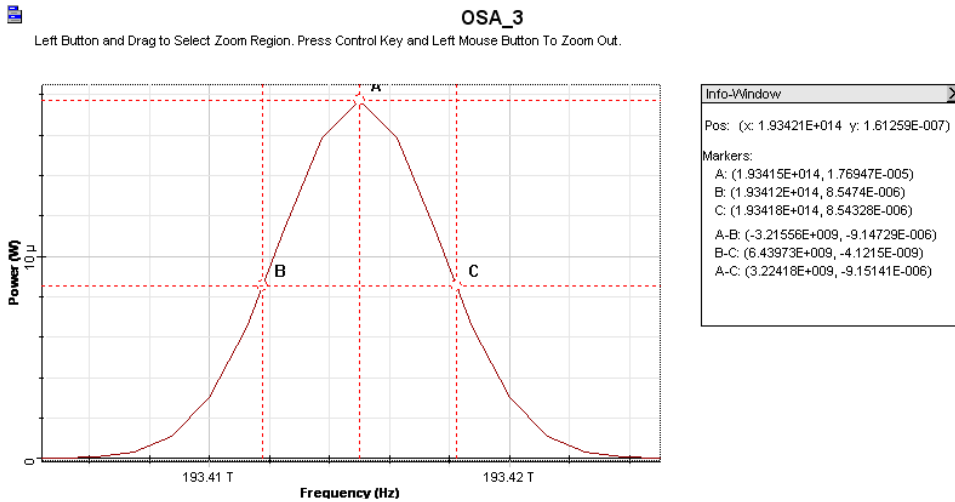



Рисунок 4 – Измерение ширины спектра

5.4. Выполните измерения параметров сигнала на выходе телекоммуникационного волокна.

Измерения выполняются для длин телекоммуникационного волокна 20, 40, 60, 80, 100, 120 км. Для этого в нижней правой панели вводится значение LengthTF и запускается моделирование нажатием на кнопку “Старт” .

Порядок измерения параметров импульса и спектра аналогичны п. 5.3. Полученные результаты заносите в соответствующие ячейки табл. 3.

Для измерения чирпа выберите закладку “PowerX”, в панели справа поставьте галочку в окне “Analysis” и выберите пункт “Chirp”.

Выставьте два маркера по границам импульса согласно рис. 5 и по шкале справа (“Frequency”) определите величину изменения частоты δf вследствие чирпа.

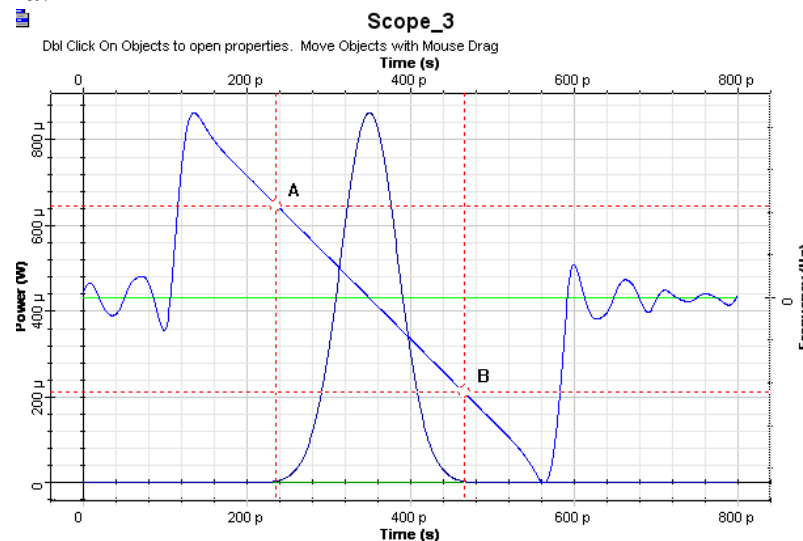


Рисунок 5 – Измерение чирпа сигнала

Например, если показания по маркеру А соответствуют 1 ГГц, а по маркеру В соответствуют -1 ГГц, итоговое значение $\delta f = 2$ ГГц.

Снимите значения интервала времени, в пределах которого определялось изменение частоты, δT в информационном окне по строке А-В (первое значение).

Значение chirp будет определяться по формуле

$$C = \frac{\delta f}{\delta T}, \text{ Гц/с.}$$

Таблица 3.

	0 км	20 км	40 км	60 км	80 км	100 км	120 км
Р, мВт							
Р, дБм							
Т, пс							
$\Delta\lambda$, нм							
δf , ГГц							
δT , пс							

Рассчитайте насколько снижается амплитуда импульса из-за хроматической дисперсии для оптического тракта различной протяженности по формуле

$$\Delta P(L) = P(0) - P(L), \text{ дБ}$$

где $P(0)$ – пиковая мощность импульса в начале линии; $P(L)$ - пиковая мощность импульса в конце линии протяженностью L .

Рассчитайте насколько увеличивается длительность импульса из-за хроматической дисперсии для оптического тракта различной протяженности по формуле

$$\Delta T(L) = T(0) - T(L), \text{ дБ}$$

где $T(0)$ – длительность импульса в начале линии; $T(L)$ - длительность импульса в конце линии протяженностью L .

Относительное уширение рассчитывается по формуле

$$\Delta T_{\text{отн}} = \frac{T(L) - T(0)}{T(0)}$$

Таблица 4.

	0 км	20 км	40 км	60 км	80 км	100 км	120 км
ΔP , дБм							
ΔT , пс							
$\Delta T_{\text{отн}}$, %							
С, Гц/пс							

Постройте графики зависимостей по таблице 4.
Сделайте выводы.

6. Выполните анализ изменений параметров сигнала при распространении в волокне компенсации дисперсии (DCF).

Установите протяженность телекоммуникационного волокна $L_{TF} = 0$ км

Рассчитайте длину волокна компенсации, необходимую для компенсации 100 км телекоммуникационного волокна и введите в строку LengthDCF

$$L_{DCF} = \frac{L_{TF} D_{TF}}{D_{DCF}}$$

где L_{TF} - протяженность телекоммуникационного волокна; D_{TF} , D_{DCF} - коэффициент хроматической дисперсии телекоммуникационного и компенсирующего волокна, рассчитанный в табл. 2

Запустите модулирование и определите пиковую мощность, длительность импульса и наведенный чирп импульса на выходе волокна компенсации. Обратите внимание на наклон кривой, описывающей чирп сигнала. Выполните сравнение полученных результатов со значениями, полученными для телекоммуникационного волокна, протяженностью 100 км и сделайте выводы.

7. Выполните исследование зависимости качества передачи сигнала от величины остаточной некомпенсированной хроматической дисперсии.

Произведите расчет длины волокна компенсации для различных значений остаточной дисперсии по формуле

$$L_{DCF} = \frac{\sigma_{ост} - L_{TF} D_{TF}}{D_{DCF}},$$

где $\sigma_{ост}$ - величина остаточная дисперсия, пс/нм.

Длину телекоммуникационного волокна принимайте равной 100 км.

При расчете подставляйте коэффициент дисперсии D_{DCF} с учетом знака.

Расчеты произведите для следующих данных:

- при 10 Гбит/с значения $\sigma_{ост}$ выбирайте в пределах -1500 до 1500 пс/нм с шагом 300 пс/нм;

- при 40 Гбит/с $\sigma_{ост}$ выбирайте в пределах в пределах от -100 до 100 пс/нм с шагом 20 пс/нм.

Для моделирования загрузите файл
Lab_03_Dispersion_Compensation_PRSB.osp

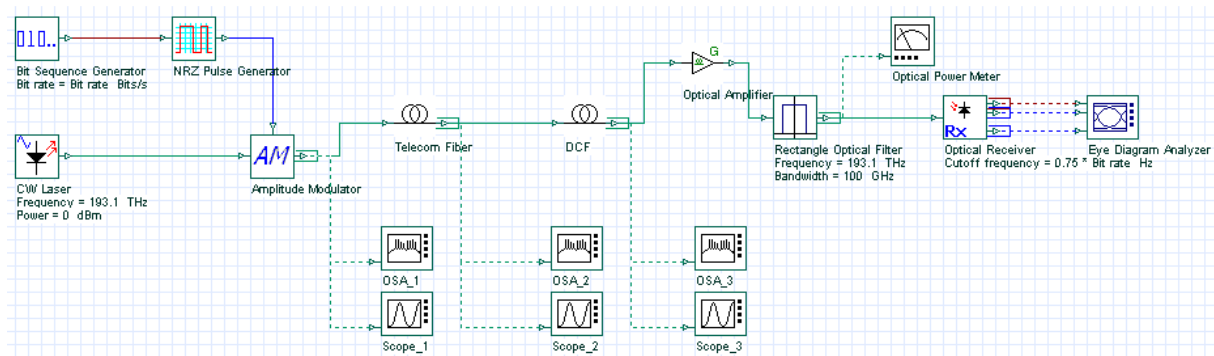



Рисунок 6 – Схема участка компенсации дисперсии


В данной схеме оптический усилитель  полностью компенсирует потери в оптическом тракте и качество сигнала определяется дисперсионными искажениями.

В параметрах моделирования выставьте значения согласно табл. 5, при этом подставляя рассчитанные значения L_{DCF} и запуская каждый раз заново моделирование

Таблица 5

Параметр	Значение	Ед. изм.
BitRate	10e+009	бит/с
Wavelength	1550	нм
LengthTF	100	км
LengthDCF	Расчетные значения L_{DCF}	км
AttenuationTF	0.2	дБ/км
AttenuationDCF	0.3	дБ/км
DispersionTF	$10+2 \cdot (n-4) *$	пс/(нм·км)
DispersionDCF	$-100-5 \cdot (n-5) *$	пс/(нм·км)
SlopeTF	0.08	пс/(нм ² ·км)
SlopeDCF	-0.2	пс/(нм ² ·км)
SignalPower	1	мВт

*n - номер бригады

Выполните оценку качества сигнала через глаз-диаграмму. Наведите курсор на анализатор глаз-диаграммы  и дважды нажмите левую кнопку мыши.

Оценку качества производите по Q-фактору, коэффициенту ошибок BER и величине раскрытия глаз-диаграммы.

Максимальное значение Q-фактора и соответствующее ему минимальное значение коэффициента ошибок BER приведено в панели Analysis справа.

Для определения раскрытия глаз-диаграммы выставьте маркер А в точке, соответствующей максимальному раскрытию глаз-диаграммы. Маркер В выставьте в точке пересечения маркера А и максимального уровня сигнала “0”, маркер С выставьте в точке пересечения маркера А и минимального уровня сигнала “1”. Раскрытие будет определяться по формуле

$$EO = E_1^{\text{мин}} - E_0^{\text{макс}} .$$

При вызове информационного меню это значение будет отображаться в строке В-С (второе значение).

Штраф на раскрытие глаз диаграммы определяется по формуле

$$EOP = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{EO_0}{EO_L} \right),$$

где EO_0 - раскрытие глаз-диаграммы на выходе передатчика; EO_L – раскрытие глаз-диаграммы на выходе оптического тракта.

Для определения EO_0 выставьте значения DispersionTF и DispersionDCF равными 0.

Результаты измерений и расчетов сведите в табл. 6.

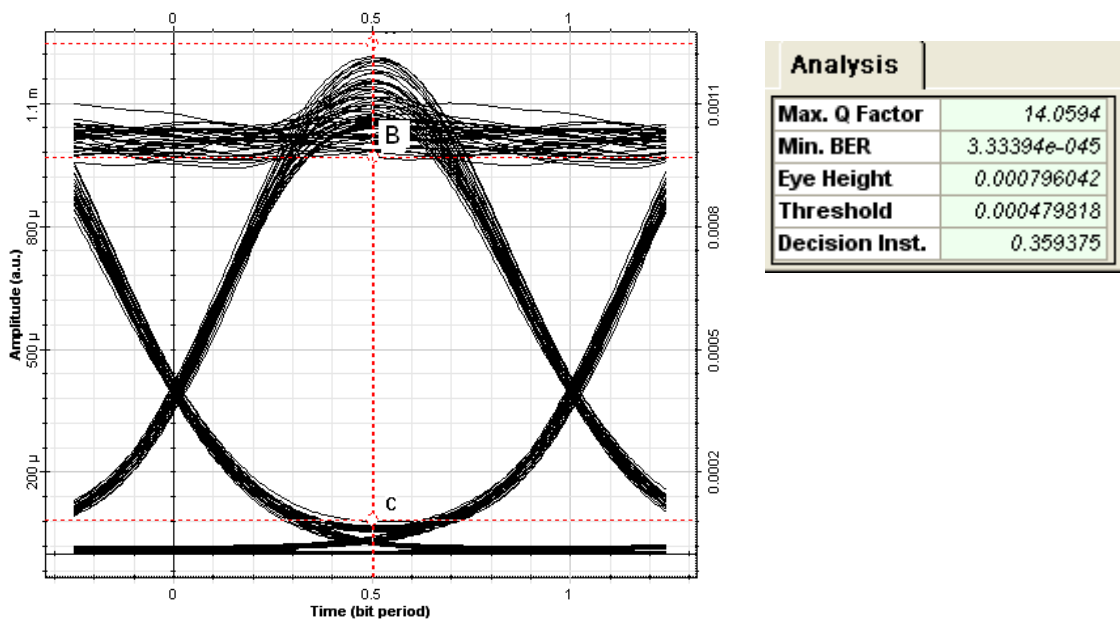


Рисунок 7 – Глаз-диаграмма. Расстановка маркеров

Таблица 6.

Скорость передачи							
$\sigma_{ост}$, пс/нм							
L_{DCF} , км							
Сигнал на выходе оптического передатчика							
E_{O_0} , мВт							
Сигнал на выходе компенсатора дисперсии							
E_{O_L} , мВт							
EOP, дБ							
Показатели качества передачи сигнала							
Q-фактор							
BER							

Постройте графики зависимости EOP, Q и BER от величины остаточной дисперсии.

8. Содержание отчета:
- цели и задачи лабораторной работы
 - схема моделирования
 - результаты измерений и расчетов в виде таблиц
 - графики зависимостей
 - выводы