

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ САМОМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА
В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ**

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 Исследование фазовой само-модуляции сигнала в оптическом
волокне: методические указания по выполнению лабораторной
работы/ М.В. Дашков. – Самара: ПГУТИ, 2017. –14 с.

В учебно-методической разработке приводится порядок выполнения лабораторной работы по исследованию нелинейного эффекта фазовой самомодуляции сигнала в оптическом волокне. В результате выполнения лабораторной работы студенты получают знания о нелинейных эффектах в оптическом волокне. В ходе работы исследуются искажения сигнала, вызванные фазовой самомодуляцией в оптическом волокне, и зависимость качества передачи сигнала от мощности сигнала и параметров оптического тракта.

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 нелинейных эффектов в оптическом волокне. Исследование искажений сигнала, вызванных фазовой самомодуляцией в оптическом волокне, и зависимости качества передачи сигнала от его мощности и параметров оптического тракта.

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. Классификация нелинейных эффектов в оптических волокнах.
2. Фазовая само-модуляция (ФСМ) в оптическом волокне.
3. Влияние ФСМ на качество передачи в зависимости от параметров сигнала и оптического волокна.
4. Фазовая кросс-модуляция (ФКМ) на ВОЛП с аппаратурой спектрального уплотнения.
5. Влияние ФКМ на качество передачи в зависимости от параметров сигнала и оптического волокна.
6. Четырех-волновое смешение (ЧВС) на ВОЛП с аппаратурой спектрального уплотнения.
7. Влияние ЧВС на качество передачи в зависимости от параметров сигнала и оптического волокна.
8. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) на ВОЛП с аппаратурой спектрального уплотнения.
9. Влияние ВКР на качество передачи в зависимости от параметров сигнала и оптического волокна.
10. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ) в оптическом волокне.
11. Влияние ВРМБ на качество передачи в зависимости от параметров сигнала и оптического волокна.
12. Внутриканальные нелинейные эффекты.

13. Порядок выполнения работы

14. Загрузите программное обеспечение OptiPerformer.

15. Откройте файл исследуемой схемы: Lab_04_SPM_Gauss_Pvar.osp

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



16. Исследуемая схема приведена на рис. 1

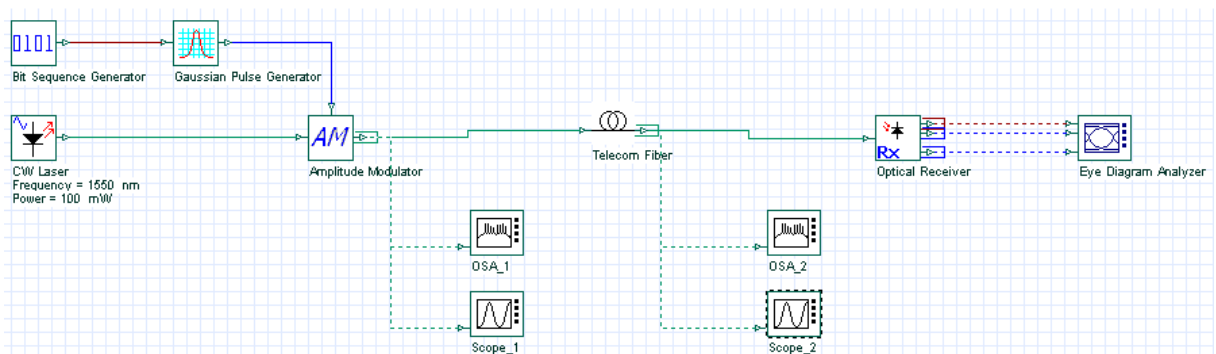






Рисунок 1 – Схема исследуемого участка

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

Оптический тракт состоит из пролета телекоммуникационного оптического волокна .

17. 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
LengthTF (km)	50
AttenuationTF (dB/km)	0.2
DispersionTF (ps/nm/km)	0

Рисунок 2 – Меню установки параметров исследуемой схемы

Соответствие параметров линии используемым обозначениям приведено в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Обозначение	
	Скорость передачи	BitRate
Длина волны излучения	Wavelength	λ
Длина телекоммуникационного волокна	LengthTF	L_{TF}
Коэффициент затухания	AttenuationTF	α_{TF}
Коэффициент хроматической дисперсии	DispersionTF	D_{TF}

18. Выполните исследование искажений оптического сигнала, вызванные явлением фазовой самомодуляции при условии отсутствия хроматической дисперсии.

5.1. Выставьте следующие параметры

Таблица 2

Параметр	Значение	Ед. изм.
BitRate	10e+009	бит/с
Wavelength	1550	нм
LengthTF	40+ 5*n	км
AttenuationTF	0.2	дБ/км
DispersionTF	0	пс/(нм·км)

*n - номер бригады

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



5.3. При запуске моделирования будут производиться вычисления для различных значений мощности сигнала от 1 мВт до 100 мВт.

Для перемещения по вариантам используйте кнопки навигации.



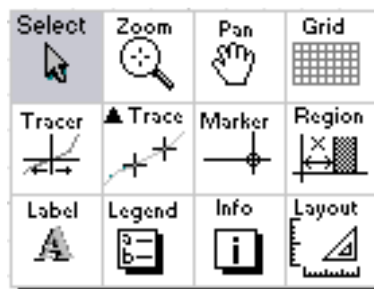
Текущее значение мощности указывается в подписи к лазерному диоду.

Выберите вариант при мощности сигнала 1 мВт.

5.4. 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.

Выполните измерение полной ширины импульса по половине амплитуды.

Выберите в инструментальном меню пункт “Маркер” и наведите курсор на максимальный уровень импульса (маркер А). 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).

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. 2).

Полученное значение Т занесите в таблицу 3.

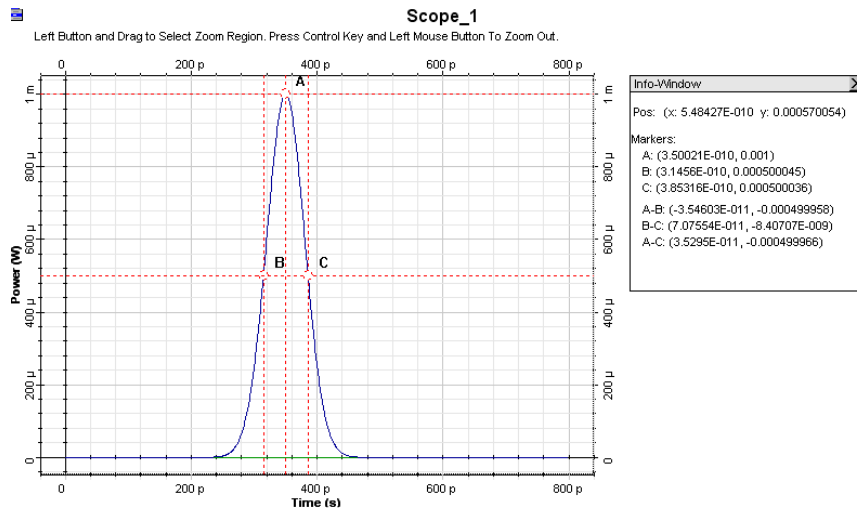


Рисунок 2 – Измерение длительности оптического импульса

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.

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

5.5. 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 B-C, первое значение (Гц).

Полученные результат измерения $\Delta\lambda$ занесите в табл. 3.

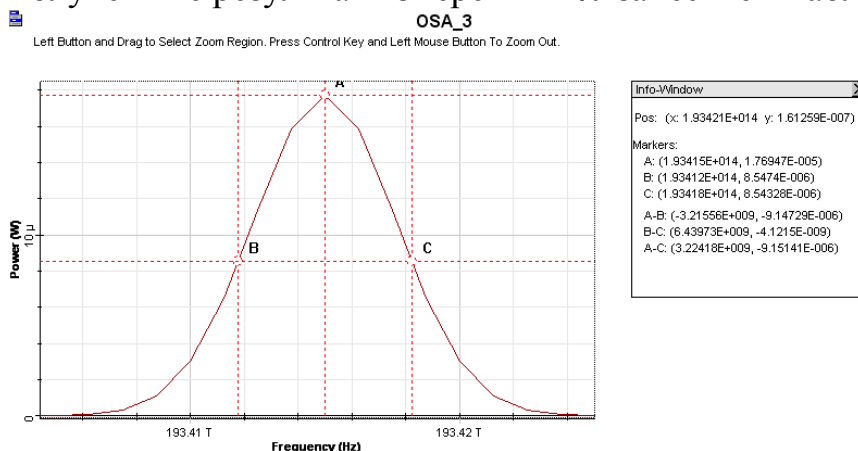



Рисунок 3– Измерение ширины спектра

5.6. Выполните измерения параметров сигнала на выходе телекоммуникационного волокна.

Измерения выполняются для значений мощности сигнала в интервале от 1 мВт до 100 мВт.

Для перемещения по вариантам используйте навигационные кнопки.

Порядок измерения параметров импульса и спектра аналогичны п. 5.4 и 5.5. Полученные результаты заносите в соответствующие ячейки табл. 3.

Для измерения фазового набега, вызванного нелинейным эффектом, активируйте осциллограф Score_2 . выберите закладку “PowerX”, в панели справа поставьте галочку в окне “Analysis” и выберите пункт “Phase”.

Выставьте маркер А по максимальному значению наведенной фазы и по шкале справа (“Phase”) определите величину фазы. Для точного измерения пользуйтесь масштабом (“Zoom” в инструментальном меню).

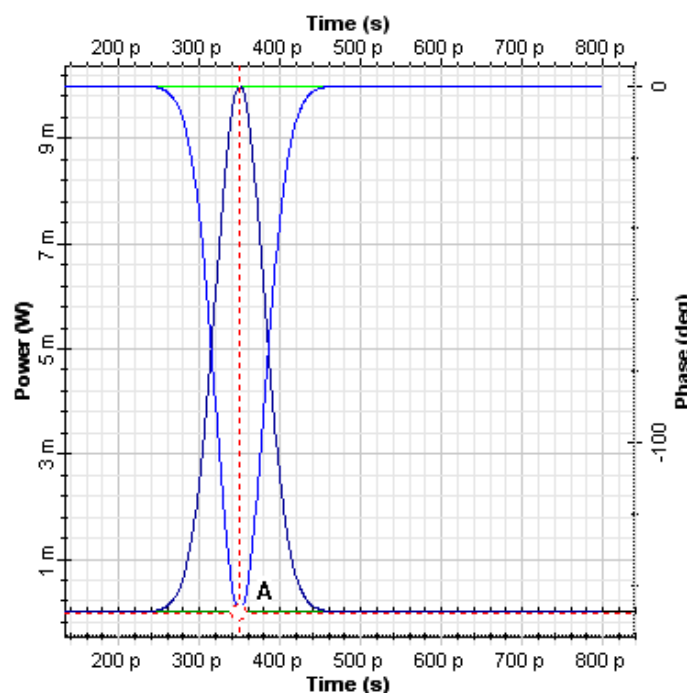


Рисунок 4 – Измерение набега фазы

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

Выставьте три маркера следующим образом: маркер А в точке на графике, соответствующей началу изменения частоты; маркер В по максимальному значению изменения частоты; маркер С в конечной точке изменения частоты.

По шкале справа (“Frequency”) определите максимальное значение сдвига частоты δf_{\max} (Маркер А).

В информационном окне в строке А-С первое значение будет соответствовать времени изменения частоты.

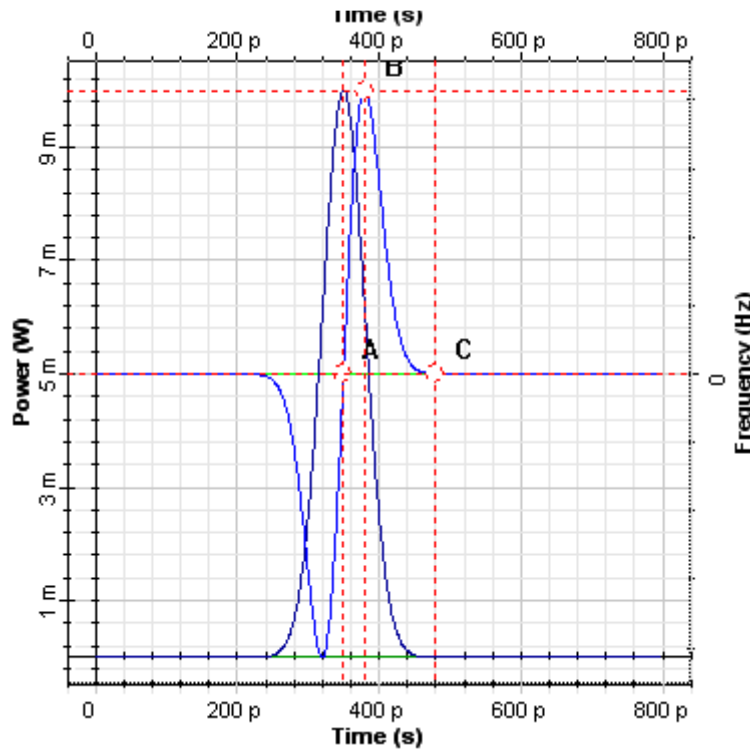


Рисунок 5 – Измерение чирпа сигнала

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 чирпа 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							
$\Delta T_{\text{отн}}$, %							
C , Гц/пс							

Постройте графики зависимостей по таблице 4.

Сделайте выводы.

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

Установите протяженность телекоммуникационного волокна $\text{LengthTF} = 0$ 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.

20. 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

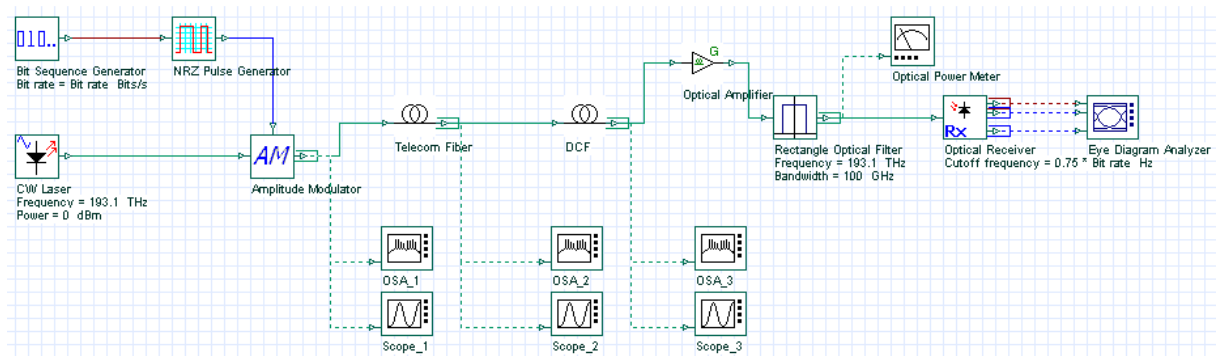



Рисунок 6 – Схема участка компенсации дисперсии


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.

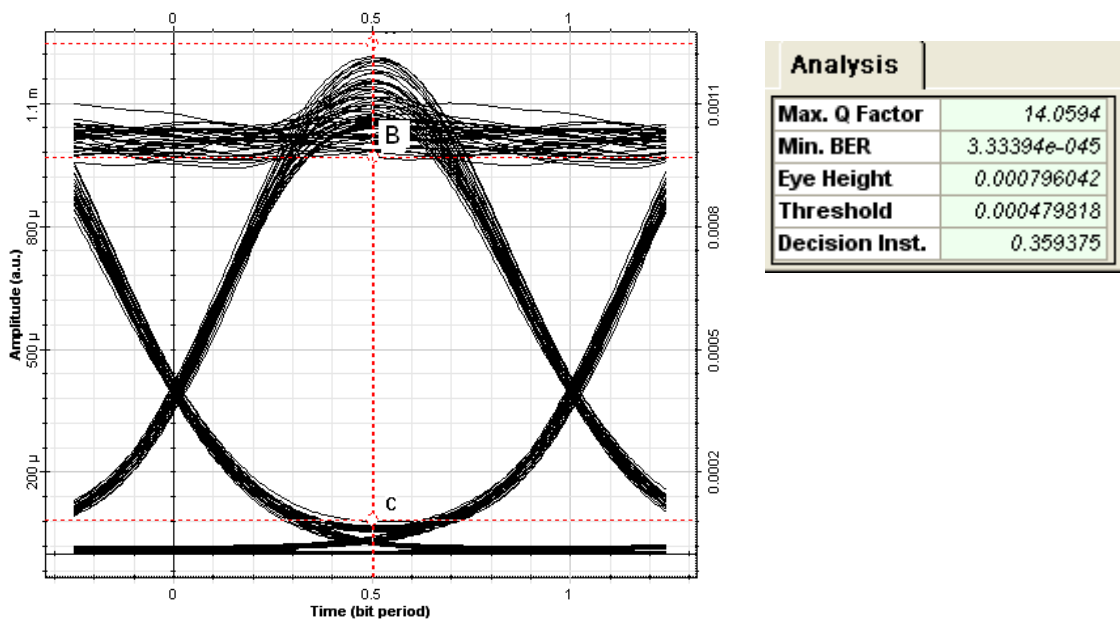


Рисунок 7 – Глаз-диаграмма. Расстановка маркеров

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.

21. Содержание отчета:

- цели и задачи лабораторной работы
- схема моделирования
- результаты измерений и расчетов в виде таблиц
- графики зависимостей
- выводы