

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, А.С. Дюбов

Нелинейная оптика и активные КОМПОНЕНТЫ

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ**

СПб ГУТ)))

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2017**

УДК 621.39

ББК 32.88

Б??

Рецензент

доцент кафедры сетей связи и передачи данных СПбГУТ

И. В. Гришин

Рекомендовано к печати

редакционно-издательским советом СПбГУТ

Былина, М.С.

Б??

Нелинейная оптика и активные компоненты : Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ / М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, А.С. Дюбов; СПбГУТ. – СПб., 2017. - с.

В пособии представлены методические указания по выполнению лабораторных работ. Написано в соответствии с программой дисциплины: «Нелинейная оптика и активные компоненты» и предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки специалистов «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи», бакалавров «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Фотоника и оптоинформатика» всех форм обучения.

Лабораторные работы также могут быть использованы для слушателей факультета подготовки и переподготовки кадров высшей квалификации для инфокоммуникационной области народного хозяйства.

УДК 621.39

ББК 32.88

Былина М.С., Глаголев С.Ф., Дюбов А.С., 2017

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2017

Содержание

СОДЕРЖАНИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
ПЕРВЫЙ ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ В ОДНОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ И СПОСОБОВ ЕЕ КОМПЕНСАЦИИ	7
ОПИСАНИЕ МОДЕЛИРУЕМОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....	7
ПРОЦЕДУРА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА, ВЫХОДЯЩЕГО ИЗ ОВ.	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 «ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАТУХАНИЯ И ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ»	10
<i>Порядок выполнения работы</i>	10
<i>Содержание отчета</i>	12
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЕНСАЦИИ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ В СТАНДАРТНЫХ ОМ ОВ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОВ»	13
<i>Порядок выполнения работы</i>	13
<i>Содержание отчета</i>	15
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЕНСАЦИИ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ В ОМ ОВ С НЕНУЛЕВОЙ СМЕЩЕННОЙ ДИСПЕРСИЕЙ С ПОМОЩЬЮ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ С ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ»	16
<i>Порядок выполнения работы</i>	16
<i>Содержание отчета</i>	17
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	17
ВТОРОЙ ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОПТИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЯХ С ВОЛОКНАМИ ЛЕГИРОВАННЫМИ ЭРБИЕМ (EDFA)	18
ОПИСАНИЕ МОДЕЛИРУЕМОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 «ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОВ, ЛЕГИРОВАННОГО ЭРБИЕМ».....	20
<i>Порядок выполнения работы</i>	20
<i>Содержание отчета</i>	22
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ С ПОПУТНОЙ НАКАЧКОЙ НА ОВ, ЛЕГИРОВАННОМ ЭРБИЕМ»	24
<i>Порядок выполнения работы</i>	24
<i>Содержание отчета</i>	27
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	27
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ СО ВСТРЕЧНОЙ НАКАЧКОЙ НА ОВ, ЛЕГИРОВАННОМ ЭРБИЕМ»	28
<i>Порядок выполнения работы</i>	28
<i>Содержание отчета</i>	30
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	31
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 «ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ С ДУНАПРАВЛЕННОЙ НАКАЧКОЙ НА ОВ, ЛЕГИРОВАННОМ ЭРБИЕМ».....	32
<i>Порядок выполнения работы</i>	32
<i>Содержание отчета</i>	35
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	35
ТРЕТИЙ ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ	36
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАБОТЕ С ВИРТУАЛЬНЫМИ ЛАБОРАТОРНЫМИ УСТАНОВКАМИ, СОЗДАНЫМИ В СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ «OPTIPERFORMER»	36
<i>Оптический анализатор спектра</i>	36
<i>Оптический измеритель мощности</i>	38
<i>Оптический визуализатор (осциллограф) во временной области</i>	38

Анализатор ошибок	39
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ПО ОДНОМОДОВЫМ ОПТИЧЕСКИМ ВОЛОКНАМ С УЧЕТОМ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ»	40
Состав лабораторной установки	40
Порядок выполнения работы	40
Содержание отчета	45
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	45
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ С БИНАРНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ПО ОДНОМОДОВЫМ ОПТИЧЕСКИМ ВОЛОКНАМ С УЧЕТОМ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ»	46
Состав лабораторной установки	46
Порядок выполнения работы	46
Содержание отчета	50
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	50

Введение

Дисциплина «Нелинейная оптика и активные компоненты» входит в учебные планы направлений подготовки бакалавров «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (профиль «Оптические системы и сети связи»), «Фотоника и оптоинформатика» и направления подготовки специалистов «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» (специализация «Оптические системы и сети связи»). Она изучается на 4 курсе в объеме 108 часов, в которые входят 58 часов самостоятельной работы и 50 часов аудиторных занятий: лекции – 20 часов, лабораторные работы – 14 часов, практические занятия – 16 часов.

Целями и задачами преподавания дисциплины «Нелинейная оптика и активные компоненты» является изучение физических процессов взаимодействия высокоинтенсивного оптического излучения с веществом и распространения излучения в оптических волокнах с учетом линейных и нелинейных процессов, принципов действия, конструкций и параметров оптических усилителей и преобразователей, а также практического использования оптических усилителей и преобразователей в волоконно-оптических сетях связи.

Дисциплина «Нелинейная оптика и активные компоненты» включает в себя 7 разделов:

1. Процессы распространения оптического излучения в оптических волокнах в линейном приближении.
2. Общие сведения о нелинейных явлениях в физике и оптике.
3. Эффекты, связанные с нелинейным преломлением света.
4. Четырехволновое смешение.
5. Волоконно-оптические усилители на основе редкоземельных элементов.
6. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна.
7. Вынужденное комбинационное рассеяние Рамана.

В результате изучения дисциплины «Нелинейная оптика и активные компоненты» студент должен:

– Знать: физические основы процессов распространения света в оптических волокнах с учетом линейных и нелинейных процессов взаимодействия света с оптической средой; основные нелинейные эффекты, возникающие в оптических волокнах: фазовая самомодуляция и кросс-модуляция, четырехволновое смешение, рассеяние Мандельштама-Бриллюэна, Рамана; влияние нелинейных эффектов на процессы распространения излучения в оптических волокнах, на параметры волоконно-оптических систем связи; конструкции, параметры, схемы включения и области применения полупроводниковых и волоконных оптических усилителей.

– Уметь: проводить инженерный расчет параметров усилительных участков волоконно-оптических систем связи с использованием оптических усилителей; проводить инженерный расчет параметров полупроводниковых и волоконных усилителей; выполнять измерения основных технических параметров полупроводниковых и волоконных усилителей; использовать техническую литературу, справочные и нормативные материалы в практической работе;

– Владеть: методиками проектирования волоконно-оптических систем связи с использованием нелинейных оптических устройств; методиками проведения измерений параметров нелинейных оптических устройств.

Предлагаемые в настоящем пособии виртуальные лабораторные работы предназначены для закрепления и углубления теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины «Нелинейная оптика и активные компоненты».

Пособие содержит три цикла виртуальных лабораторных работ:

– по исследованию хроматической дисперсии в одномодовых оптических волокнах и способов ее компенсации,

– по исследованию физических процессов в оптических усилителях с волокнами легированными эрбием (EDFA),

– по исследованию совместного действия хроматической дисперсии и нелинейных явлений в оптических волокнах.

ПЕРВЫЙ ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

по исследованию хроматической дисперсии в одномодовых оптических волокнах и способов ее компенсации

Описание моделируемой лабораторной установки

В лабораторной работе моделируется установка (рис. В1.1), которая включает:

- Набор переключаемых одномодовых лазерных источников излучения (ИИ) с фиксированными длинами волн в диапазоне 1518-1586 нм с шагом 4 нм, обеспечивающий перекрытие диапазона DWDM. Для проведения исследований в лабораторной установке предусмотрено изменение следующих параметров источников излучения:
 - ширина спектра излучения в пределах от 0.0001 до 3 нм,
 - длительность импульсов гауссовской формы в пределах от 0.001 до 10 нс,
 - относительная линейная частотная модуляция («чирпинг») в пределах от -2 до 2.
- Фотоприемное устройство (ФПУ) с коррекцией чувствительности на каждой длине волны источников излучения.
- Осциллограф (ОСЦ), работающий в режиме внешней синхронизации и снабженный функциями:
 - отображения формы входного и выходного импульсов,
 - регулировками в широких пределах цен деления по осям X (времени) и Y (мощности),
 - измерения времени задержки вершины выходного импульса относительно вершины входного,
 - измерения мгновенного значения мощности входного и выходного импульса с помощью курсора, который позволяет выбрать момент времени по отношению к вершине импульса,
- Систему полуавтоматической обработки результатов измерения (СО), позволяющую рассчитать затухание и расширение импульса в линейном тракте.
- Линейный тракт (ЛТ), состоящий из двух последовательно соединенных ОВ (ОВ1 и ОВ2) нескольких типов, длины ОВ могут изменяться в пределах от 0 до 200 км.

На экране осциллографа (рис. В1.2) можно наблюдать формы оптических импульсов на входе в линейный оптический тракт и на его выходе. Для переключения наблюдаемых импульсов используется клавиша «РАСЧЕТ». Входные и выходные импульсы располагаются в центральной части экрана осциллографа.

Для удобства измерения длительностей входного и выходного импульсов с помощью вертикального курсора уровень половинной

амплитуды (мощности) показан горизонтальным синим курсором. Для измерения полуширины длительности входного или выходного импульсов вертикальный курсор совмещается с точкой пересечения горизонтального курсора и фронта импульса. Вертикальный курсор перемещается с помощью движка на горизонтальной линейке под экраном осциллографа.

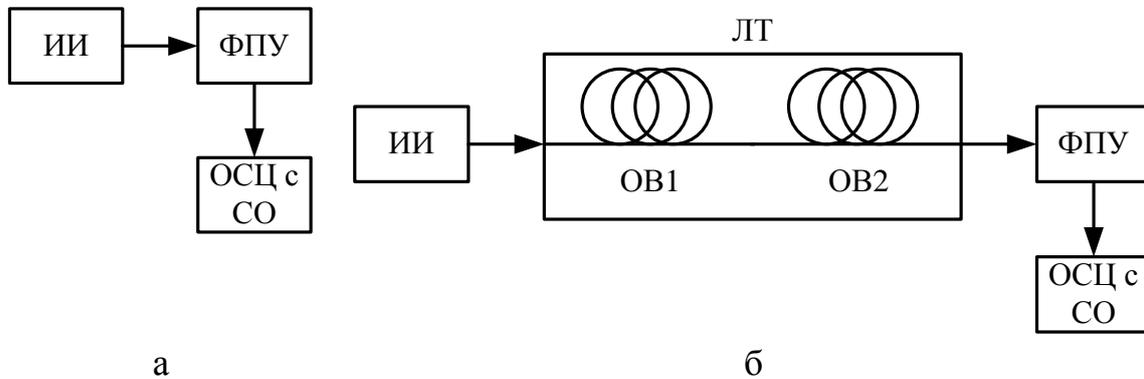


Рис. В1.1. Структурные схемы моделируемой лабораторной установки: а – схема исследования сигнала на входе ЛТ, б – схема исследования сигнала на выходе ЛТ.

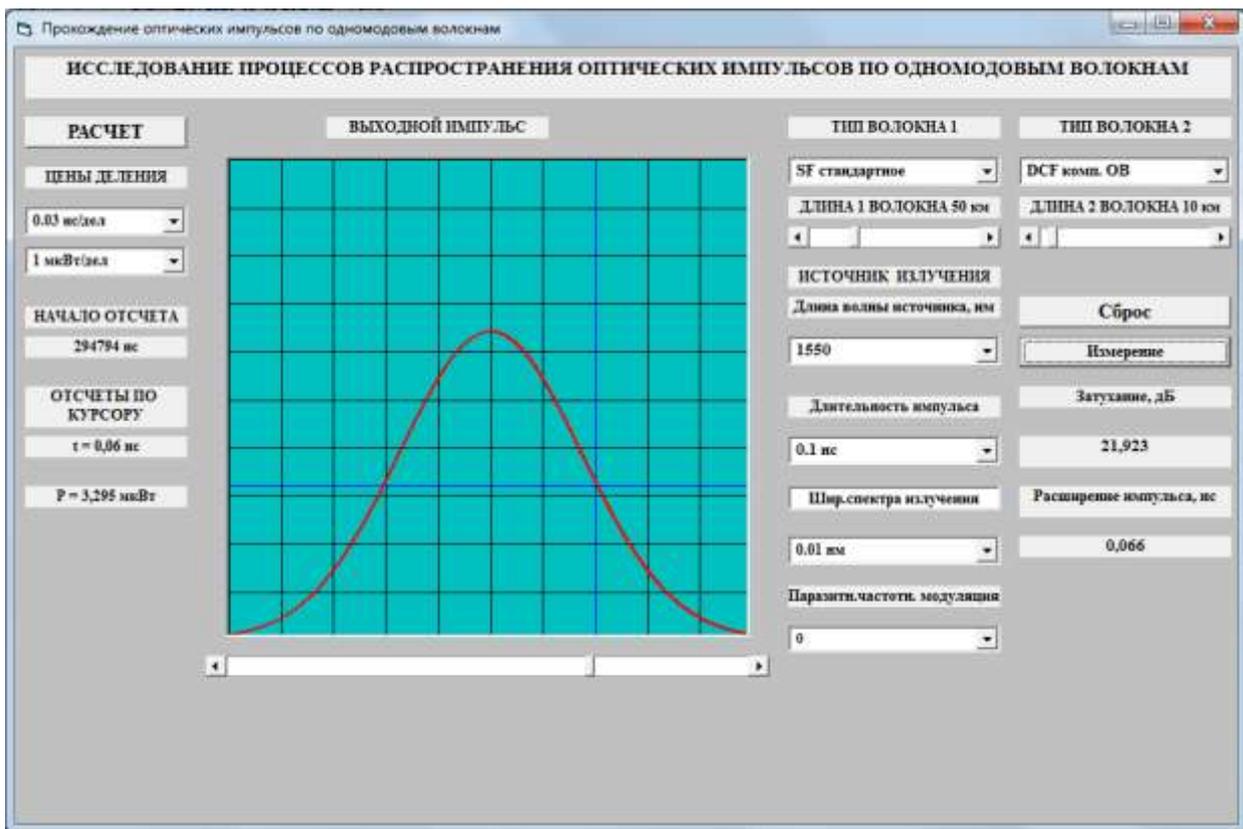


Рис. В1.2. Внешний вид экрана лабораторной установки

Задержка выходного импульса по отношению к входному может быть определена в окне «НАЧАЛО ОТСЧЕТА», которое расположено слева от экрана осциллографа. Там же располагаются окна для отсчета времени и мощности в точке, определяемой положением вертикального курсора.

Слева от экрана осциллографа также располагаются переключатели цен деления по горизонтальной и вертикальной осям осциллографа.

С правой стороны от экрана осциллографа располагается переключатель типов двух одномодовых ОВ, который позволяет выбрать для исследования:

1. стандартное ОВ (SF) в соответствии с рекомендациями МСЭ G.652,
2. стандартное ОВ (SF) в соответствии с рекомендациями МСЭ G.652D без водяного пика затухания,
3. ОВ со смещенной дисперсией (DSF), в соответствии с рекомендациями МСЭ G.653,
4. ОВ с ненулевой положительной смещенной дисперсией (+D NZDSF) в соответствии с рекомендациями МСЭ G.655,
5. ОВ с ненулевой отрицательной смещенной дисперсией (-D NZDSF) в соответствии с рекомендациями МСЭ G.655,
6. ОВ для компенсации положительной хроматической дисперсии (DCF).

Под переключателями типа ОВ располагаются регуляторы, позволяющие изменять длины двух исследуемых последовательно включенных ОВ.

Отметим, что реальные источники излучения могут иметь частотную модуляцию (чирпинг), относительную величину которой также можно задавать с помощью переключателя «Индекс частотной модуляции».

Процедура измерения параметров оптического импульса, выходящего из ОВ.

Для измерения затухания a (дБ) и расширения выходных импульсов Δt (нс) в исследуемом линейном тракте в полуавтоматическом режиме необходимо:

- вертикальный курсор совместить с максимальным значением мощности выходного импульса ($t = 0$) и нажать кнопку «Сброс»;
- совместить вертикальный курсор с точкой пересечения горизонтального курсора с огибающей выходного импульса и нажать кнопку «Измерение»;
- произвести отсчет величин затухания a (дБ) и расширения выходных импульсов Δt (нс) с экрана лабораторной установки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«Исследование зависимостей коэффициентов затухания и хроматической дисперсии оптических волокон от длины волны»

Цель работы:

Изучение процессов распространения оптических импульсов по одномодовым оптическим волокнам (ОВ) различных типов, методов экспериментального определения параметров ОВ – коэффициентов затухания и хроматической дисперсии.

Порядок выполнения работы

1.1. Получите у преподавателя типы двух исследуемых ОВ, их длины L , скорости передачи B (Гбит/с), число каналов DWDM N , интервал между соседними каналами $\Delta\nu$ (МГц), ширину спектра излучения источника $\Delta\lambda$. В таблице 1.1 приведено несколько типовых вариантов заданий.

Таблица 1.1. Примерные варианты заданий на выполнение лабораторной работы.

Вариант	Тип ОВ	L , км	B , Гбит/с	$\Delta\lambda$, нм	N	$\Delta\nu$, ГГц
1	SF	100	2.5	0.1	41	50
2	SF	100	10	0.03	31	100
3	SF	80	40	0.01	21	100
4	SF	80	10	0.001	31	50
1	+NZ DSF	100	2.5	0.1	41	50
2	-NZ DSF	100	10	0.03	31	100
3	+NZ DSF	80	40	0.01	21	100
4	-NZ DSF	80	10	0.001	31	50

Для центрального канала выберите частоту $\nu_0 = 194$ ТГц (40 канал сетки DWDM с межканальным интервалом $\Delta\nu = 100$ ГГц).

1.2. Проведите предварительные расчеты для Вашего варианта.

1.2.1. Определите частоты крайних каналов по выражениям

$$\nu_{\min} = \nu_0 - \frac{N-1}{2} \cdot \Delta\nu \text{ и } \nu_{\max} = \nu_0 + \frac{N-1}{2} \cdot \Delta\nu. \quad (1.1)$$

1.2.2. Определите длины волн центрального и двух крайних каналов по выражению

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (1.2)$$

где c – скорость света в вакууме.

1.2.3. Определите длительность входного импульса по выражению

$$t_u = \frac{1}{4B}. \quad (1.3)$$

1.2.4. Для исследований выберите значения длин волн и длительности импульса, наиболее близкие к рассчитанным, и соответствующие тем, которые используются в экспериментальной установке.

Примите максимально допустимое расширение импульса

$$\Delta t_d = t_u. \quad (1.4)$$

1.3. С помощью переключателей выберите тип первого заданного преподавателем исследуемого ОВ типа SF. Установите его длину. Установите длину второго ОВ равной 0.

1.4. Установите заданную ширину спектра излучения источника $\Delta\lambda$ и длительность импульса t_u . Проверьте, что частотная модуляция источника излучения равна $C = 0$.

1.5. Определите параметры входного импульса: его максимальную мощность (амплитуду) и ширину на уровне 0.5 от амплитуды, используя вертикальный курсор и отсчеты по шкале времени t и мощности P .

1.6. Нажмите клавишу «Расчет» и изменением цен деления по вертикальной и горизонтальной шкалам добейтесь наглядного изображения выходного импульса. Изображение должно занимать большую часть экрана, но не выходить за его пределы.

1.7. Поочередно выставляя рассчитанные длины волн λ_{\min} , λ_0 , λ_{\max} , проведите измерения затухания a и расширения импульса Δt за счет хроматической дисперсии сначала для первого заданного преподавателем ОВ, а затем для второго. Исходные данные и все результаты экспериментов занесите в табл. 1.2. Для определения затухания a и величины расширения импульса Δt используйте процедуру, описанную во введении к первому циклу лабораторных работ.

1.8. Определите задержку выходного импульса, которая определяет начало отсчета выходного импульса t_z . При этом вертикальный курсор должен быть совмещен с максимальным значением мощности. Отсчет по курсору должен быть равен $t = 0$.

1.9. Проведите расчеты скорости распространения оптических импульсов V , коэффициента затухания α и удельного расширения импульсов δt для всех длин волн по следующим формулам:

$$V_g = L/t_z, \quad (1.5)$$

$$\alpha = a/L, \quad (1.6)$$

$$\delta t = \Delta t/L. \quad (1.7)$$

Результаты расчетов занесите в табл. 1.2.

1.10. Проанализируйте результаты моделирования процессов распространения оптических сигналов с DWDM, приведенных в табл. 1.2. Сделайте вывод о возможности использования исследуемых ОВ для построения волоконно-оптической системы связи (ВОСС) по критерию

$$\Delta t \leq \Delta t_d. \quad (1.8)$$

В табл. 1.2 отметьте возможность использования знаком «+», а невозможность знаком «-».

Таблица 1.2. Результаты экспериментальных исследований

Исх. данные	$L=$ ___ км	$B=$ ___ ГГц/с	$N=$ ___	$\Delta\nu=$ ___ МГц	$\Delta\lambda=$ ___ нм	
Тип ОВ	SF					
λ , нм	min	0	max	min	0	max
P_l , мВт						
t_z , нс						
a , дБ						
Δt , пс						
V , км/с						
α , дБ/км						
$\Delta t/L$, пс/км						
Возможность использования						

Содержание отчета

1. Заполненная таблица 1.2 с исходными данными, результатами исследований и расчетов.
2. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Типы одномодовых ОВ (ОМ ОВ). Их назначение.
2. Нормированная частота. Длина волны отсечки. Условие одномодовости.
3. Длина волны нулевой дисперсии для разных типов ОМ ОВ.
4. Зависимость коэффициента затухания от длины волны для различных типов ОВ.
5. Диаметр модового поля для разных типов ОМ ОВ.
6. Хроматическая дисперсия для разных типов ОМ ОВ.
7. Материальная и волноводная дисперсии ОМ ОВ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«Исследование возможностей компенсации хроматической дисперсии в стандартных ОВ ОВ с помощью специальных ОВ»

Цель работы:

Изучение процессов компенсации или уменьшения влияния хроматической дисперсии в одномодовых ОВ путем последовательного включения двух ОВ с противоположными знаками хроматической дисперсии.

Порядок выполнения работы

2.1. Работу выполнять с использованием исходных данных, заданных преподавателем в первой работе.

2.2. Для ОВ типа SF подключите последовательно второе ОВ типа DCF для компенсации хроматической дисперсии.

2.3. Определите оптимальную длину компенсирующего ОВ, которая обеспечивает выполнение условия (1.8) и при этом обеспечивает минимальное затухание. Используйте измерение величин a и Δt для центрального канала системы DWDM. Изменяйте длину компенсирующего ОВ по алгоритму последовательных приближений (шагов). Результаты всех измерений записывайте в табл. 2.1. Целью измерения является выполнение двух условий, которые проверяются после каждого шага:

– первое безусловное $\Delta t \leq \Delta t_d$ (1.8),

– второе при условии достижения первого безусловного условия состоит в минимизации величины затухания в линейном тракте (поиск оптимальной длины компенсирующего ОВ).

Количество шагов должно быть минимальным и определяется необходимой точностью достижения цели.

2.4. Последовательное приближение осуществляется шагами, т.е. длина компенсирующего ОВ L_k изменяется на каждом i -ом шаге на величину

$$\Delta L_i = \Delta L_{i-1} / 2 \quad (2.1)$$

либо в сторону увеличения, либо в сторону уменьшения по выражению

$$Lk_i = Lk_{i-1} \pm \Delta L_{i-1}. \quad (2.2)$$

Знак в выражении (2.2) выбирается в зависимости от результатов i -го и $i-1$ -го измерения, т.е. знак в выражении (2.2) сохраняется, если

$$\Delta t_i \leq \Delta t_{i-1} \quad (2.3a)$$

и меняется на противоположный, если

$$\Delta t_i > \Delta t_{i-1}. \quad (2.3b)$$

В качестве начального значения длины компенсирующего ОВ принимаем

$$Lk_0 = L/2, \quad (2.4a)$$

а величину первого шага принимаем равной

$$\Delta L_1 = L/4, \text{ т.е. } Lk_1 = L/4. \quad (2.4б)$$

Зададимся количеством шагов n из условия

$$\Delta L_n = \frac{L}{2^n} < \Delta L_d, \quad (2.5)$$

где ΔL_d – допустимая дискретность определения длины компенсирующего ОВ, например $\Delta L_d = 100$ м (уточните у преподавателя). Определите необходимое количество измерений по выражению

$$n \geq \frac{\ln(L/\Delta L_d)}{\ln(2)}. \quad (2.6)$$

2.5. Последовательно устанавливая значения длины компенсирующего ОВ в соответствии с предлагаемым алгоритмом, определяйте значения a и Δt для центрального канала системы DWDM и записывайте их в табл. 2.1. В ячейки для Lk и ΔL поместите числовые значения.

Таблица 2.1. Результаты процесса подбора оптимальной длины компенсирующего ОВ

Шаг	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Lk , км	$L/2$	$L/4$							
ΔL , км	$L/4$	$L/8$	$L/16$	$L/32$	$L/64$	$L/128$	$L/256$	$L/512$	$L/1024$
P_l , мВт									
Δt , пс									
a , дБ									
Выбор									

2.6. Из табл. 2.1 определите диапазон изменения длин компенсирующего ОВ, при котором расширение импульса меньше или равно допустимому значению.

Выберите из этого диапазона длину компенсирующего ОВ, при которой минимально затухание.

2.7. При выбранной длине компенсирующего ОВ Lk определите величины Δt и a для центральной и крайних длин волн системы DWDM и поместите их в табл. 2.2. Определите максимальный разброс величин P_l , Δt и a между каналами системы DWDM.

Таблица 2.2. Результаты экспериментальных исследований.

$Lk = \underline{\hspace{2cm}}$ км				Макс. разбросы величин между каналами
λ , нм	min	0	max	
P_l , мВт				
Δt , пс				
a , дБ				
P_0 , мВт				

2.8. Примите пороговую мощность шума на входе фотоприемного устройства для скорости передачи $B_0 = 1$ Гбит/с равной $P_{l0} = 10^{-5}$ Вт. Определите пороговую мощность для заданной скорости передачи по выражению

$$P_l = P_{l0} \cdot \sqrt{\frac{B}{B_0}}. \quad (2.7)$$

2.9. Учитывая величину затухания для центрального и крайних каналов DWDM, определите требуемую для них входную мощность по выражению:

$$P_{0i} = P_l \cdot 10^{a_i/10}. \quad (2.8)$$

Результаты расчетов занесите в табл. 2.2.

Содержание отчета

1. Исходные данные, таблицы 2.1 и 2.2 с результатами измерений и расчетов.
2. Графики зависимостей Δt и a от Lk для центрального канала.
3. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Хроматическая дисперсия и затухание в стандартном ОВ. Зависимость от частоты.
2. Хроматическая дисперсия и затухание в ОВ для компенсации хроматической дисперсии. Зависимость от частоты.
3. Расчет расширения импульса за счет хроматической дисперсии с учетом компенсирующего ОВ.
4. Расчет общего затухания линейного тракта с учетом затухания в компенсирующем ОВ.
5. Увеличение затухания оптических импульсов за счет хроматической дисперсии.
6. В чем суть оптимальной компенсации хроматической дисперсии.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«Исследование возможностей компенсации хроматической дисперсии в ОМ ОВ с ненулевой смещенной дисперсией с помощью источников излучения с частотной модуляцией»

Цель работы:

Изучение процессов компенсации или уменьшения влияния хроматической дисперсии в одномодовых ОВ с ненулевой смещенной дисперсией (NZ DSF) с помощью источников излучения с частотной модуляцией (чирпингом).

Порядок выполнения работы

3.1. Работу выполнять с использованием исходных данных, заданных преподавателем в первой работе.

3.2. Для ОВ типа NZ DSF определите оптимальную величину относительной частотной модуляции импульсов (чирпинга)

$$C = T_0^2 \cdot \frac{d\omega}{dT}. \quad (3.1)$$

3.3. Последовательно изменяя величину индекса частотной модуляции источника излучения, измеряйте мощность выходного импульса, а также величины затухания a и расширения импульса Δt для центрального канала системы DWDM. Исходные данные и результаты измерений занесите в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Результаты процесса подбора оптимального чирпинга источника излучения

Исх. данные	Тип ОВ	$\lambda_0 =$		$L =$	$B =$	$N =$	$\Delta\nu =$		$\Delta\lambda =$
		нм		км	ГГц/с		МГц		нм
C	-2	-1.75	-1.5	-1.25	-1.0	-0.75	-0.5	-0.25	0
P_l , мВт									
a , дБ									
Δt , пс									
Выбор									
C	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2	
P_l , мВт									
a , дБ									
Δt , пс									
Выбор									

3.4. Выберите оптимальную величину чирпинга C , при которой получено минимальное расширение импульса Δt . Отметьте выбранное значение знаком «+» в строке «Выбор» табл. 3.1.

3.5. При выбранной оптимальной величине чирпинга C определите величины P_l , Δt и a для центральной и крайних длин волн системы DWDM и поместите их в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Результаты экспериментальных исследований.

$C = \underline{\hspace{2cm}}$				Макс. разбросы величин между каналами
λ , нм	min	0	max	
P_l , мВт				
Δt , пс				
a , дБ				
P_0 , мВт				

3.6. Используя величину пороговой мощности P_l , определенную по (2.7), и величину затухания в центральном и крайних каналах системы DWDM найдите требуемую для них входную мощность по выражению (2.8).

3.7. Сравните результаты расчетов параметров ВОСС с двумя типами ОВ и различными способами компенсации хроматической дисперсии, укажите их достоинства и недостатки.

Содержание отчета

1. Исходные данные, таблицы 3.1 и 3.2 с результатами измерений и расчетов.
2. Графики зависимостей Δt и a от C для центрального канала.
3. Выводы по лабораторным работам 2 и 3.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Хроматическая дисперсия и затухание в ОВ со смещенной дисперсией. Зависимость от частоты.
2. Хроматическая дисперсия и затухание в ОВ с ненулевой смещенной дисперсией. Зависимость от частоты.
3. Частотная модуляция (чирпинг) в ОВ. Причины возникновения.
4. Частотная модуляция (чирпинг) в источниках излучения. Причины возникновения.
5. Расчет расширения импульса за счет хроматической дисперсии с учетом чирпинга источника излучения.
6. Материальная и волноводная дисперсия. Способы управления хроматической дисперсией.

ВТОРОЙ ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ по исследованию физических процессов в оптических усилителях с волокнами легированными эрбием (EDFA)

Описание моделируемой лабораторной установки

Лабораторная установка создана с использованием программы «GAINMASTER™», которая находится в свободном доступе в Internet (рис. В2.1). Для создания виртуальных лабораторных работ в этой программе используются модели следующих компонентов:

- Набор источников излучения сигнала следующих типов:
 - Монохроматический источник 1λ - *signal* с одной длиной волны, которая может задаваться пользователем;
 - Многочастотный монохроматический источник излучения *ITU - signal*, частоты и длины волн которого соответствуют сетке, рекомендованной Международным союзом электросвязи (МСЭ) для систем связи DWDM;
 - Многочастотный монохроматический источник излучения $N\lambda$ - *signal*, количество волн, частоты и длины волн которого могут задаваться в широких пределах;
 - Источник излучения *Custom – signal* с произвольным спектром излучения, который вводится в программу из заранее подготовленного файла.
- Набор источников излучения накачки следующих типов:
 - Монохроматический источник излучения накачки *1480 nm Pump* с длиной волны 1480 нм;
 - Монохроматический источник излучения накачки *980 nm Pump* с длиной волны 980 нм.
- Набор эрбиевых ОВ (*Er fiber*),
- Мультиплексоры *WDM* для объединения излучения сигнала и накачки;
- Оптический изолятор (*Isolator*),
- Измерительный прибор (*Probe*), подключаемый к входу и выходу оптического усилителя (ОУ) и позволяющий измерять коэффициент усиления, шум – фактор;
- Оптический фильтр (*Filter*);
- Ячейка Брегга (*Bragg Grating*);
- Атенюатор (*Attenuator*);
- Несимметричный ответвитель 1x2 (*Tap*);
- Симметричный разветвитель 2x2 (*Splitter*);
- Неразъемное соединение (*Splise*);
- Разъемное соединение (*Connector*);

- Циркулятор (*Circ*).

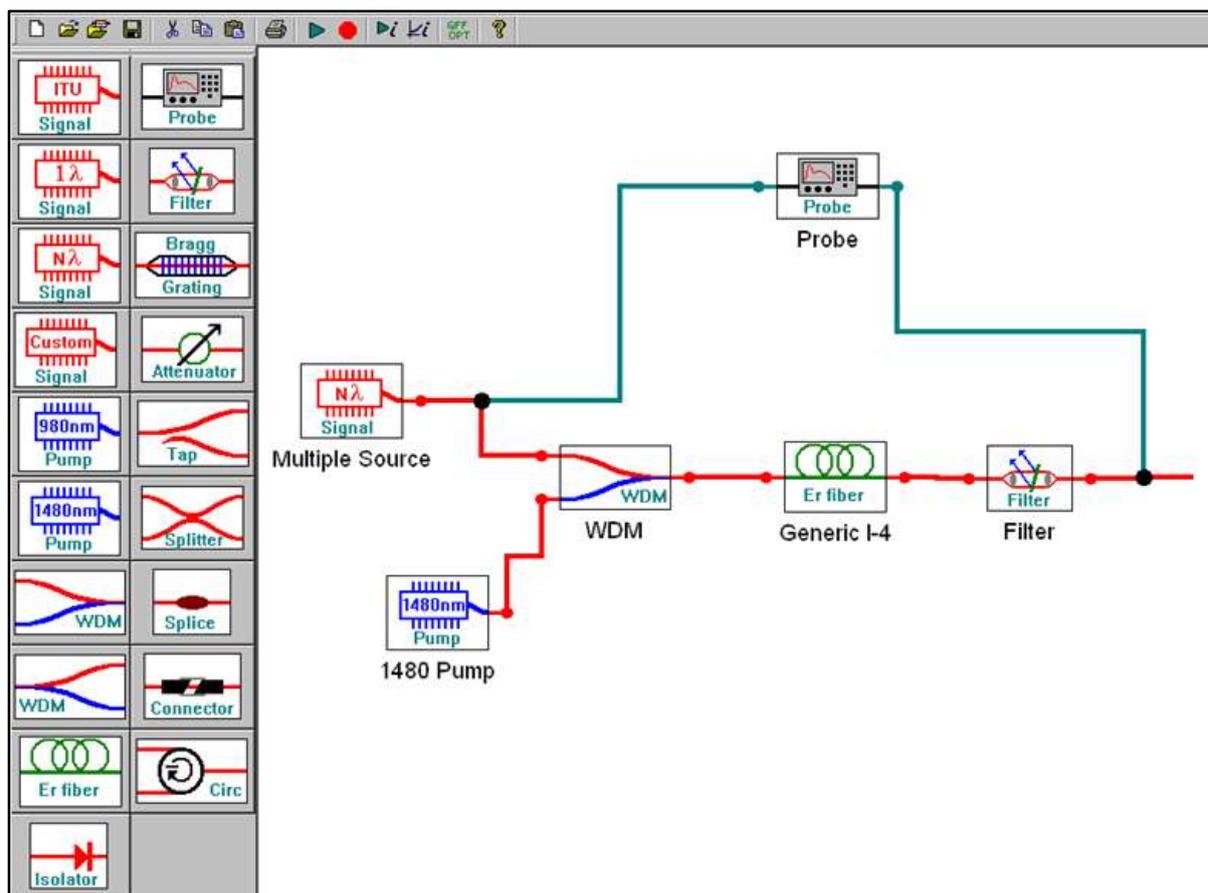


Рис. В2.1. Внешний вид экрана виртуальной лабораторной работы с оптической схемой эрбиевого усилителя с попутной накачкой

Для сборки любой оптической схемы выбранный в левой части экрана элемент выводится на поле с помощью двойного нажатия левой клавиши «мыши» на этот элемент и перемещается по полю с помощью той же «мыши», которая также используется для соединения входов/ выходов отдельных элементов. Для контроля выхода последнего элемента к нему надо присоединить отрезок ОВ.

Для задания параметров элементов с клавиатуры необходимо на изображении элемента нажать левую клавишу «мыши». В ряде случаев параметры элементов могут быть заданы из файлов с расширением *.dat.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«Исследование параметров ОВ, легированного эрбием»

Цель работы:

Изучение параметров и физических процессов в оптическом волокне (ОВ) легированном эрбием. Получение навыков в создании схем исследования, обработке и анализе полученных результатов.

Порядок выполнения работы

1.1. Получите у преподавателя номер варианта. По табл. 1.1 выберите конкретное ОВ и его длину.

Таблица 1.1. Исходные данные для исследований

№ варианта	Тип ОВ	Длина ОВ, м
1	I-4 generic	10
2	I-6 generic	10
3	I-25 generic	10
4	M-5 generic	10
5	M-12 generic	10
6	I-4 generic	15
7	I-6 generic	15
8	I-25 generic	15
9	M-5 generic	15
10	M-12 generic	15
11	I-4 generic	5
12	I-6 generic	5
13	I-25 generic	5
14	M-5 generic	5
15	M-12 generic	5

1.2. Соберите сразу 2 схемы (рис. 1.1а и 1.1б) с источниками $N\lambda$ и 1λ для исследования затухания эрбиевого ОВ в диапазоне длин волн 1520-1560 нм. При сборке схем не забудьте к выходу исследуемого ОВ подключить вспомогательный отрезок ОВ.

1.3. В первой схеме с многочастотным источником излучения ($N\lambda$ *signal*) и эрбиевым ОВ (*Er fiber*) заданного типа установите параметры источника излучения, оставив в диапазоне от 1520 до 1560 нм 11 длин волн с уровнем мощности -30 дБм и заданную длину эрбиевого ОВ. Во второй схеме с одночастотным источником излучения (1λ *signal*) установите длину волны 1540 нм.

1.4. Запустите процесс измерения кнопкой ►. Для определения параметров оптического излучения в выбранной точке схемы необходимо

дважды нажать левую клавишу «мыши» на этой точке. Результаты измерений параметров оптического излучения занесите в табл. 1.2а.

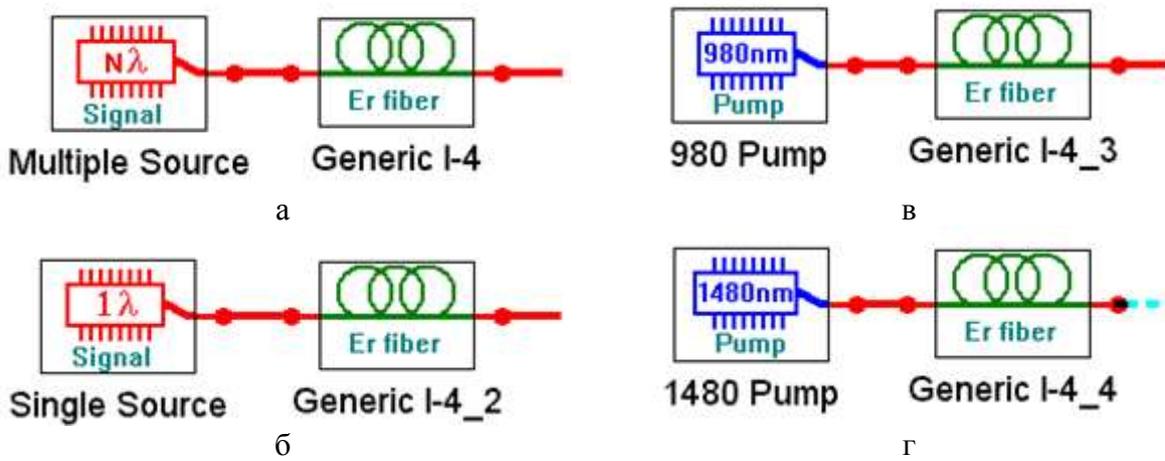


Рис. 1.1. Схемы подключения источников излучения к эрбиевому ОВ.

Таблица 1.2а, 1.2б, 1.2в

Тип ОВ				Длина ОВ _____ м		
Схема $N\lambda$						
λ , нм	P_0 , мВт	p_0 , дБм	P_l , мВт	p_l , дБм	a , дБ	α , дБ/м
1520						
1524						
1560						
1520–1560 нм	$P_{0\Sigma}$, мВт	$p_{0\Sigma}$, дБм	$P_{l\Sigma}$, мВт	$p_{l\Sigma}$, дБм	a_Σ , дБ	α_Σ , дБ/м
Схема 1λ						
λ , нм	P_0 , мВт	p_0 , дБм	P_l , мВт	p_l , дБм	a , дБ	α , дБ/м
1540						

Рассчитайте и запишите в табл. 1.2а суммарные мощности и уровни на входе $P_{0\Sigma}$ и на выходе $P_{l\Sigma}$ эрбиевого ОВ при использовании многочастотного источника. Рассчитайте общее затухание и коэффициент затухания сигнала на каждой длине волны, а также суммарное затухание и суммарный коэффициент затухания.

Сравните затухание для различных длин волн многочастотного источника с суммарным затуханием. Сравните также величины

коэффициентов затухания для длины волны $\lambda = 1540$ нм при использовании одночастотного и многочастотного источников.

1.5. Повторите измерения по пунктам 1.3–1.4 при уровнях входных сигналов -10 и $+10$ дБм. Результаты измерений занесите в таблицы 1.2б и 1.2в. Постройте семейство зависимостей коэффициента затухания от длины волны при различных уровнях входных сигналов. Попытайтесь объяснить полученные зависимости.

1.6. Соберите сразу 2 схемы (рис. 1.1в и 1.1г) с источниками накачки **980 nm Pump** и **1480 nm Pump** и теми же ОВ.

1.7. Запустите расчет кнопкой ►. Изменяя уровень мощности источника накачки, измеряйте параметры излучения на входе и выходе эрбиевого ОВ. Результаты измерений параметров оптического излучения и расчетов занесите в табл. 1.3а для $\lambda = 980$ и 1.3б для $\lambda = 1480$ нм.

Таблица 1.3а, 1.3б

$\lambda =$	нм	Тип ОВ				Длина ОВ			м
P_0 , мВт									
p_0 , дБм	23	20	17	14	11	8	5	2	
P_b , мВт									
p_b , дБм									
a , дБ									
α , дБ/м									
$P_{ASEback}$, мВт									
$p_{ASEback}$, дБм									
$P_{ASEforw}$, мВт									
$p_{ASEforw}$, дБм									

Рассчитайте общее затухание и коэффициент затухания накачки. Зарегистрируйте зависимости уровней усиленного спонтанного излучения от длины волны для максимального и минимального уровня входной оптической мощности для двух длин волн накачки, приложите их к отчету и постарайтесь объяснить эти зависимости. Проверьте, выполнение закона сохранения энергии (мощности) для процессов в эрбиевом ОВ. Объясните, куда израсходована энергия сигнала источника.

Содержание отчета

1. Таблицы 1.2а, 1.2б и 1.2в с результатами измерений и расчетов. Семейство графиков зависимостей коэффициента затухания от длины волны для различных уровней входного излучения.

2. Выводы по результатам измерений и расчетов в таблицах 1.2а, 1.2б и 1.2в.

3. Таблицы 1.3а и 1.3б с результатами измерений и расчетов. Графики зависимости коэффициента затухания от уровня накачки на входе ОВ для двух длин волн накачки. Выводы по графикам.

4. Графики зависимости уровней усиленного спонтанного излучения на входе и выходе ОВ от длины волны для максимального и минимального уровня входной оптической мощности для двух длин волн накачки (8 графиков). Выводы по графикам.

5. Выводы по результатам проверки выполнения закона сохранения энергии для накачки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Конструкции и параметры ОВ, легированных эрбием.
2. Структура энергетических уровней эрбия.
3. Процессы поглощения излучения.
4. Процессы спонтанного и вынужденного излучения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«Исследование параметров оптического усилителя с попутной накачкой на ОВ, легированном эрбием»

Цель работы:

Изучение параметров и физических процессов в оптическом усилителе (ОУ) на ОВ легированном эрбием с попутной накачкой. Получение навыков обработки и анализа результатов.

Порядок выполнения работы

2.1. Получите у преподавателя номер варианта. По табл. 1.1 выберите конкретное ОВ и его первоначальную длину.

2.2. Соберите схему исследования эрбиевого ОУ с попутной накачкой (рис. 2.1). Установите параметры источника излучения $N\lambda$ signal, оставив в диапазоне от 1520 до 1560 нм 11 длин волн с уровнем мощности -30 дБм. Установите длину эрбиевого ОВ согласно табл. 1.1. Установите уровень мощности накачки 20 дБм на длине волны 1480 нм.

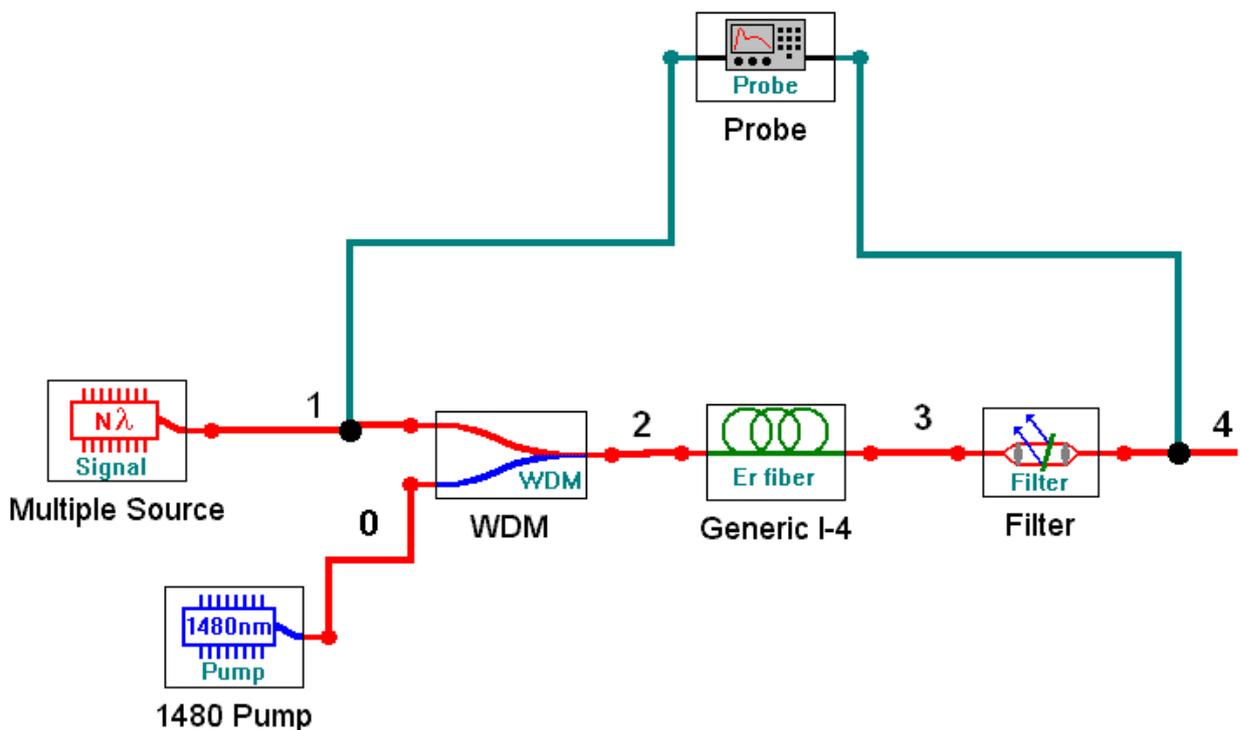


Рис. 2.1. Упрощенная схема ОУ с попутной накачкой на ОВ, легированном эрбием.

2.3. Запустите процесс измерения кнопкой ►. Результаты измерений параметров оптического излучения занесите в табл. 2.1.

Определите уровень суммарной мощности сигнала в точках 2 и 3, а также уровни усиленного спонтанного излучения в тех же точках: $p_{ASEback}$ (точка 2) и $p_{ASEforw}$ (точка 3). Зарегистрируйте зависимости уровней

усиленного спонтанного излучения от длины волны, приложите их к отчету и постарайтесь объяснить эти зависимости.

Таблица 2.1. Результаты измерения параметров оптического излучения

$p_{s0} = \underline{\hspace{1cm}}$ дБм (точка 1)	$p_{p0} = \underline{\hspace{1cm}}$ дБм (точка 0)		$l_{OB} = \underline{\hspace{1cm}}$ м		$\lambda_p = \underline{\hspace{1cm}}$ нм		
Точка	2	2	3	3	4	1-4	1-4
λ , нм	p_{s0} , дБм	p_{p0} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	p_{sl} , дБм	G_s , дБ	F_N , дБ
1520							
1560							
1520–1560	$p_{s0\Sigma}$, дБм	p_{p0} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	$p_{sl\Sigma}$, дБм	$G_{s\Sigma}$, дБ	$F_{N\Sigma}$, дБ

Проверьте, выполнение закона сохранения энергии (мощности) для процессов в эрбиевом ОУ. Объясните, куда израсходована энергия сигнала источника и накачки.

2.4. Замените источник излучения на одноволновой типа **1λ signal**. Установите длину волны 1530 нм с уровнем мощности –30 дБм.

2.5. Проведите исследование линейности ОУ. Для этого необходимо изменять уровень сигнала на входе ОУ. Результаты измерений поместите в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Результаты исследования линейности ОУ

	$p_{p0} = \underline{\hspace{1cm}}$ дБм (точка 0)		$l_{OB} = \underline{\hspace{1cm}}$ м		$\lambda_p = \underline{\hspace{1cm}}$ нм		
Точка 1	4	3	–	1-4	1-4	2	4
p_{s0} , дБм	p_{sl} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	G_s , дБ	F_N , дБ	$P_{ASEback}$, дБм	$P_{ASEforw}$, дБм
–30							
–20							
–10							
–5							
0							
5							

2.6. Проведите исследование зависимости параметров ОУ от уровня мощности накачки. Для этого необходимо изменять уровень накачки на входе ОУ. Результаты измерений поместите в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Результаты исследования зависимости параметров ОУ от уровня мощности накачки

	$p_{s0} =$	дБм (точка 1)		$\lambda_p =$	нм			$l_{OB} =$	м
Точка 0	4	3	–	1–4	1–4	2	4		
p_{p0} , дБм	p_{sl} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	G_s , дБ	F_N , дБ	$P_{ASEback}$, дБм	$P_{ASEforw}$, дБм		
–5									
0									
5									
10									
15									
20									

2.7. Проведите исследование зависимости параметров ОУ от длины эрбиевого ОБ. Для этого необходимо изменять длину ОБ. Результаты измерений поместите в таблицу 2.4.

Таблица 2.4. Результаты исследования зависимости параметров ОУ от длины эрбиевого ОБ

	$p_{s0} =$	дБм (точка 1)		$\lambda_p =$	нм			$p_{p0} =$	дБм
Точка 0	4	3	–	1–4	1–4	2	4		
l_{OB} , м	p_{sl} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	G_s , дБ	F_N , дБ	$P_{ASEback}$, дБм	$P_{ASEforw}$, дБм		
5									
10									
15									
20									
25									
30									

2.8. Замените источник накачки на **980 nm Pump**, а источник сигнала на многочастотный источник **$N\lambda$ signal**. Установите параметры источника излучения сигнала, оставив в диапазоне от 1520 до 1560 нм 11 длин волн с уровнем мощности –30 дБм. Установите заданную длину эрбиевого ОБ (табл. 1.1).

Повторите измерения по пунктам 2.3–2.7. Результаты измерений поместите в таблицы, аналогичные табл. 2.1–2.4.

2.9. Проведите сравнительный анализ ОУ с разными источниками попутной накачки, выбрав в качестве критериев усиление, неравномерность спектра, шум фактор, уровень усиленного спонтанного усиления. Постройте графики для обоснования Ваших выводов.

Содержание отчета

1. Две таблицы по формам 2.1, 2.2, 2.3 и 2.4 для двух длин волн накачки 1480 и 980 нм.
2. Графики зависимостей для двух длин волн накачки:
 - коэффициентов усиления и шум факторов от длины волны сигнала,
 - коэффициентов усиления и шум факторов от длины ОВ для одночастотного источника излучения сигнала,
 - коэффициентов усиления и шум факторов от уровня входного сигнала одночастотного источника излучения сигнала,
 - коэффициентов усиления и шум факторов от уровня накачки для одночастотного источника излучения сигнала,
 - уровней усиленного спонтанного излучения на входе и выходе эрбиевого ОВ от длины волны сигнала для одночастотного источника излучения сигнала.
3. Результаты проверки выполнения закона сохранения энергии для ОУ.
4. Выводы по каждой таблице и графикам.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и параметры мультиплексора WDM.
2. Назначение и параметры фильтра.
3. Что такое шум фактор оптического усилителя?
4. Как образуется усиленное спонтанное излучение?
5. Как изменяются вдоль эрбиевого ОВ уровни сигнала и накачки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«Исследование параметров оптического усилителя со встречной накачкой на ОВ, легированном эрбием»

Цель работы:

Изучение параметров и физических процессов в оптическом усилителе (ОУ) на ОВ легированном эрбием с встречной накачкой. Получение навыков обработки и анализа результатов.

Порядок выполнения работы

3.1. Получите у преподавателя номер варианта. По табл. 1.1 выберите конкретное ОВ и его первоначальную длину.

Соберите схему исследования эрбиевого ОУ с встречной накачкой (рис. 3.1). Установите параметры источника излучения $N\lambda$ signal, оставив в диапазоне от 1520 до 1560 нм 11 длин волн с уровнем мощности -30 дБм. Установите длину эрбиевого ОВ согласно табл. 1.1. Установите уровень мощности накачки 20 дБм на длине волны 1480 нм.

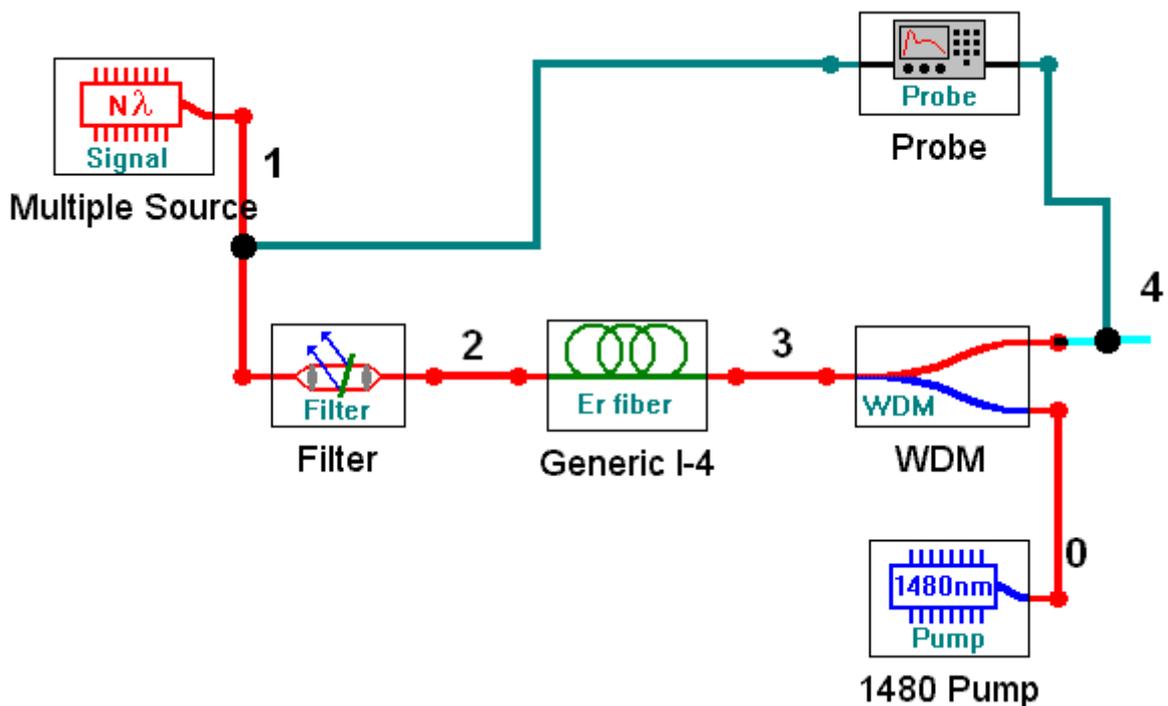


Рис. 3.1. Упрощенная схема ОУ со встречной накачкой на ОВ, легированном эрбием

3.2. Запустите процесс измерения кнопкой ►. Для определения параметров оптического излучения в выбранной точке схемы необходимо дважды нажать левую клавиши «мыши» на этой точке. Результаты измерений параметров оптического излучения занесите в табл. 3.1.

Определите уровень суммарной мощности сигнала в точках 2 и 3, а также уровни усиленного спонтанного излучения в тех же точках: $p_{ASEback}$ (точка 2) и $p_{ASEforw}$ (точка 3). Зарегистрируйте зависимости уровней

усиленного спонтанного излучения от длины волны, приложите их к отчету и постарайтесь объяснить эти зависимости.

Таблица 3.1. Результаты измерения параметров оптического излучения

$p_{s0} = \underline{\quad}$ дБм (точка 1)		$p_{p0} = \underline{\quad}$ дБм (точка 0)			$l_{OB} = \underline{\quad}$ м	$\lambda_p = \underline{\quad}$ нм	
Точка	2	0	2	0-2	4	1-4	1-4
λ , нм	p_{s0} , дБм	p_{p0} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	p_{sl} , дБм	G_s , дБ	F_N , дБ
1520							
1540							
1520–1560	$p_{s0\Sigma}$, дБм	p_{p0} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	$p_{s\Sigma}$, дБм	$G_{s\Sigma}$, дБ	$F_{N\Sigma}$, дБ

Проверьте, выполнение закона сохранения энергии (мощности) для процессов в эрбиевом ОУ. Объясните, куда израсходована энергия сигнала источника и накачки.

3.3. Замените источник излучения на одноволновой типа **1λ signal**. Установите длину волны 1530 нм с уровнем мощности –30 дБм.

3.4. Проведите исследование линейности ОУ. Для этого необходимо изменять уровень сигнала на входе ОУ. Результаты измерений поместите в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Результаты исследования линейности ОУ

$p_{p0} = \underline{\quad}$ дБм (точка 0)		$l_{OB} = \underline{\quad}$ м			$\lambda_p = \underline{\quad}$ нм		
Точка 1	4	2	–	1-4	1-4	2	4
p_{s0} , дБм	p_{sl} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	G_s , дБ	F_N , дБ	$P_{ASEback}$, дБм	$P_{ASEforw}$, дБм
–30							
–20							
–10							
–5							
0							
5							

3.5. Проведите исследование зависимости параметров ОУ от уровня мощности накачки. Для этого необходимо изменять уровень накачки на входе ОУ. Результаты измерений поместите в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Результаты исследования зависимости параметров ОУ от уровня мощности накачки

	p_{s0} дБм (точка 1)		λ_p нм		l_{OB} м		
Точка 0	4	2	0–2	1–4	1–4	2	4
p_{p0} , дБм	p_{sl} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	G_s , дБ	F_N , дБ	$P_{ASEback}$, дБм	$P_{ASEforw}$, дБм
-5							
0							
5							
10							
15							
20							

3.6. Проведите исследование зависимости параметров ОУ от длины эрбиевого ОБ. Для этого необходимо изменять длину ОБ. Результаты измерений поместите в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Результаты исследования зависимости параметров ОУ от длины эрбиевого ОБ

	p_{s0} дБм (точка 1)		λ_p нм		p_{p0} дБм		
Точка 0	4	2	0–2	1–4	1–4	2	4
l_{OB} , м	p_{sl} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	G_s , дБ	F_N , дБ	$P_{ASEback}$, дБм	$P_{ASEforw}$, дБм
5							
10							
15							
20							
25							
30							

3.7. Замените источник накачки на **980 nm Pump**, а источник сигнала на многочастотный источник **$N\lambda$ signal**. Установите параметры источника излучения сигнала, оставив в диапазоне от 1520 до 1560 нм 11 длин волн с уровнем мощности -30 дБм. Установите заданную длину эрбиевого ОБ (табл. 1.1).

Повторите измерения по пунктам 3.3–3.6. Результаты измерений поместите в таблицы, аналогичные табл. 3.1–3.4.

3.8. Проведите сравнительный анализ ОУ с разными источниками встречной накачки. Постройте графики для обоснования Ваших выводов.

Содержание отчета

1. Две таблицы по формам 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4 для двух длин волн накачки 1480 и 980 нм.
2. Графики зависимостей для двух длин волн накачки:

- коэффициентов усиления и шум факторов от длины волны сигнала,
 - коэффициентов усиления и шум факторов от длины ОВ для одночастотного источника излучения сигнала,
 - коэффициентов усиления и шум факторов от уровня входного сигнала одночастотного источника излучения сигнала,
 - коэффициентов усиления и шум факторов от уровня накачки для одночастотного источника излучения сигнала,
 - уровней усиленного спонтанного излучения на входе и выходе эрбиевого ОВ от длины волны сигнала для одночастотного источника излучения сигнала.
3. Результаты проверки выполнения закона сохранения энергии для ОУ.
 4. Выводы по каждой таблице и графикам.
 5. Сравнительный анализ ОУ с попутной и встречной накачками.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и параметры мультиплексора WDM.
2. Назначение и параметры фильтра.
3. Что такое шум фактор оптического усилителя?
4. Как образуется усиленное спонтанное излучение?
5. Как изменяются вдоль эрбиевого ОВ уровни сигнала и накачки?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

«Исследование параметров оптического усилителя с двунаправленной накачкой на ОВ, легированном эрбием»

Цель работы:

Изучение параметров и физических процессов в оптическом усилителе (ОУ) на ОВ легированном эрбием с двунаправленной накачкой. Получение навыков обработки и анализа полученных результатов.

Порядок выполнения работы

4.1. Получите у преподавателя номер варианта. По табл. 1.1 выберите конкретное ОВ и его первоначальную длину.

Соберите схему исследования эрбиевого ОУ с двунаправленной накачкой (рис. 4.1). Установите параметры источника излучения $N\lambda$ *signal*, оставив в диапазоне от 1520 до 1560 нм 11 длин волн с уровнем мощности -30 дБм. Установите длину эрбиевого ОВ согласно табл. 1.1. Установите уровни мощности накачек 20 дБм на длине волны 1480 нм.

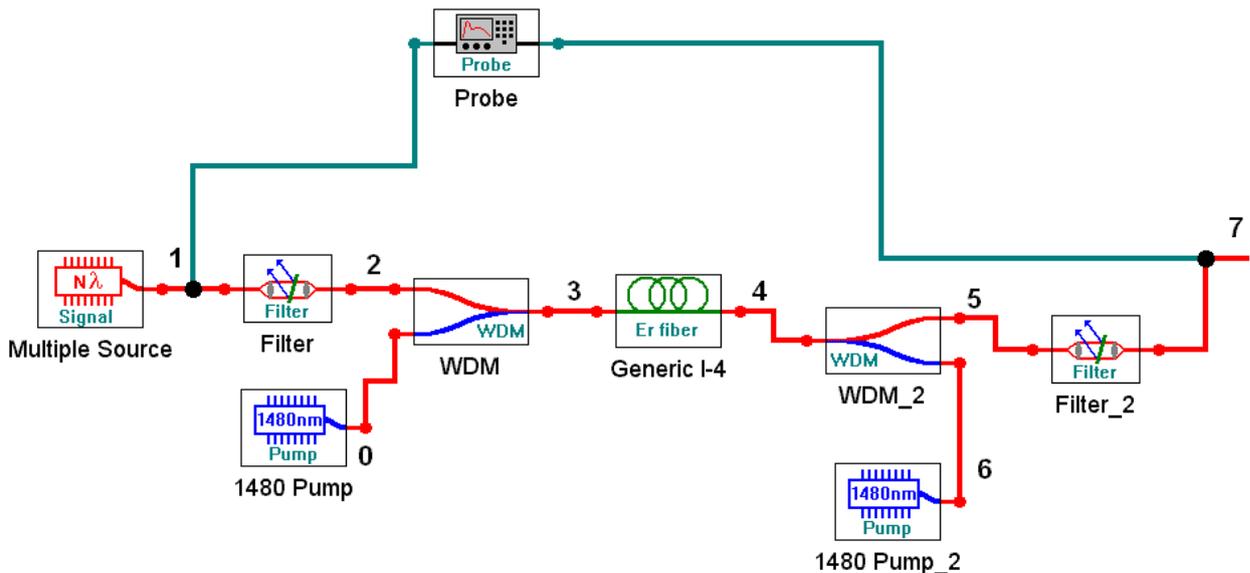


Рис. 4.1. Упрощенная схема ОУ с двунаправленной накачкой на ОВ, легированном эрбием

4.2. Запустите процесс измерения кнопкой ►. Для определения параметров оптического излучения в выбранной точке схемы необходимо дважды нажать левую клавиши «мыши» на этой точке. Результаты измерений параметров оптического излучения занесите в табл. 4.1.

4.3. Определите уровень суммарной мощности сигнала в точках 1 и 7, а также уровни усиленного спонтанного излучения в тех же точках: $p_{ASEback}$ (точка 1) и $p_{ASEforw}$ (точка 7). Зарегистрируйте зависимости уровней

усиленного спонтанного излучения от длины волны, приложите их к отчету и постарайтесь объяснить эти зависимости.

Таблица 4.1. Результаты измерения параметров оптического излучения

$p_{s0} =$ ___ дБм (точка 1)	$p_{p0} =$ ___ дБм (точка 0)			$l_{OB} =$ ___ м	$\lambda_p =$ ___ нм		
Точка	1	0	2	0–2	4	1–4	1–4
λ , нм	p_{s0} , дБм	p_{p0} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	p_{sl} , дБм	G_s , дБ	F_N , дБ
1520							
1540							
1520–1560	$p_{s0\Sigma}$, дБм	p_{p0} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	$p_{s\Sigma}$, дБм	$G_{s\Sigma}$, дБ	$F_{N\Sigma}$, дБ

4.4. Проверьте, выполнение закона сохранения энергии (мощности) для процессов в эрбиевом ОУ. Объясните, куда израсходована энергия сигнала источника и накачек.

4.5. Замените источник излучения на одноволновой типа **1λ signal**. Установите длину волны 1530 нм с уровнем мощности –30 дБм.

4.6. Проведите исследование линейности ОУ. Для этого необходимо изменять уровень сигнала на входе ОУ. Результаты измерений поместите в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Результаты исследования линейности ОУ

	$p_{p0} =$ ___ дБм (точка 0)		$l_{OB} =$ ___ м	$\lambda_p =$ ___ нм			
Точка 1	4	2	–	1–4	1–4	2	4
p_{s0} , дБм	p_{sl} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	G_s , дБ	F_N , дБ	$P_{ASEback}$, дБм	$P_{ASEforw}$, дБм
–30							
–20							
–10							
–5							
0							
5							

4.7. Проведите исследование зависимости параметров ОУ от уровня мощности накачки. Для этого необходимо изменять уровень накачки на входе ОУ. Результаты измерений поместите в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Результаты исследования зависимости параметров ОУ от уровня мощности накачки

	p_{s0} дБм (точка 1)		λ_p нм		l_{OB} м		
Точка 0	4	2	0–2	1–4	1–4	2	4
p_{p0} , дБм	p_{sl} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	G_s , дБ	F_N , дБ	$P_{ASEback}$, дБм	$P_{ASEforw}$, дБм
–5							
0							
5							
10							
15							
20							

4.8. Проведите исследование зависимости параметров ОУ от длины эрбиевого ОВ. Для этого необходимо изменять длину ОВ. Результаты измерений поместите в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Результаты исследования зависимости параметров ОУ от длины эрбиевого ОВ

	p_{s0} дБм (точка 1)		λ_p нм		p_{p0} дБм		
Точка 0	4	2	0–2	1–4	1–4	2	4
l_{OB} , м	p_{sl} , дБм	p_{pl} , дБм	a_p , дБ	G_s , дБ	F_N , дБ	$P_{ASEback}$, дБм	$P_{ASEforw}$, дБм
5							
10							
15							
20							
25							
30							

4.9. Замените источник накачки на **980 nm Pump**, а источник сигнала на многочастотный источник **$N\lambda$ signal**. Установите параметры источника излучения сигнала, оставив в диапазоне от 1520 до 1560 нм 11 длин волн с уровнем мощности –30 дБм. Установите заданную длину эрбиевого ОВ (табл. 1.1).

Повторите измерения по пунктам 4.3–4.8. Результаты измерений поместите в таблицы, аналогичные таблицам 4.1–4.4.

4.10. Проведите сравнительный анализ ОУ с попутной, встречной и двунаправленной накачкой. Постройте графики для обоснования Ваших выводов.

Содержание отчета

1. Две таблицы по формам 4.1, 4.2, 4.3 и 4.4 для двух длин волн накачки 1480 и 980 нм.
2. Графики зависимостей для двух длин волн накачки:
 - коэффициентов усиления и шум факторов от длины волны сигнала,
 - коэффициентов усиления и шум факторов от длины ОВ для одночастотного источника излучения сигнала,
 - коэффициентов усиления и шум факторов от уровня входного сигнала одночастотного источника излучения сигнала,
 - коэффициентов усиления и шум факторов от уровня накачки для одночастотного источника излучения сигнала,
 - уровней усиленного спонтанного излучения на входе и выходе эрбиевого ОВ от длины волны сигнала для одночастотного источника излучения сигнала.
3. Результаты проверки выполнения закона сохранения энергии для ОУ.
4. Выводы по каждой таблице и графикам.
5. Сравнительный анализ ОУ с попутной, встречной и двунаправленной накачками.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и параметры мультиплексоров WDM в усилителе с двунаправленной накачкой.
2. Назначение и параметры фильтров в схеме.
3. Что такое шум фактор оптического усилителя?
4. Как образуется усиленное спонтанное излучение?
5. Как изменяются вдоль эрбиевого ОВ уровни сигнала и накачки?

ТРЕТИЙ ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ по исследованию совместного действия хроматической дисперсии и нелинейных явлений в оптических волокнах

Общие сведения о работе с виртуальными лабораторными установками, созданными в среде программирования «OptiPerformer»

Программа OptiPerformer запускается с рабочего стола. Для работы со схемами ВОСС необходимо через меню «File» открыть папку «Лабораторные работы», также расположенную на рабочем столе (в случае отсутствия – уточнить расположение у преподавателя) и выбрать нужный файл с расширением *.osp.

В основном окне программы отобразятся исследуемые схемы ВОСС. В правом нижнем углу окна расположена панель управления изменяемыми параметрами. Пользователь может задавать уровень мощности источника излучения (Power), длины основного ОВ (Length) и ОВ для компенсации дисперсии (DCF) (LengthDCF). Для некоторых схем ВОСС возможно изменение типа кодирования (Coding), усиления предусилителя (Gain) и полосы фильтра (FilterBandwidth).

После того как все исходные параметры установлены в соответствии с заданием, необходимо запустить измерение, нажав в левой нижней части рабочего окна кнопку .

После окончания расчета и появления надписи «Calculation finished» можно проводить измерения необходимых величин с помощью измерительных приборов, входящих в схему исследования. Для визуализации результатов измерения необходимо дважды нажать на соответствующий измерительный прибор в интересующей точке схемы, после чего откроются его дисплей и панель управления.

Рассмотрим краткие инструкции по использованию измерительных приборов в лабораторных работах (рис. В3.1).

Оптический анализатор спектра

Оптический анализатор спектра (Optical Spectrum Analyzer, OSA) (рис. В3.1, а) позволяет получать и настраивать изображение оптического спектра (спектрограммы), поступающего на вход излучения.

Рекомендуемые установки на передней панели оптического анализатора спектра (OSA) для наших лабораторных исследований выделены жирным шрифтом:

Power, Power X, Power Y (под экраном OSA),

All, Noise, Parametrized, Sampled (слева от экрана OSA).

Поставьте птичку в окне Resolution Bandwidth справа на передней панели OSA.

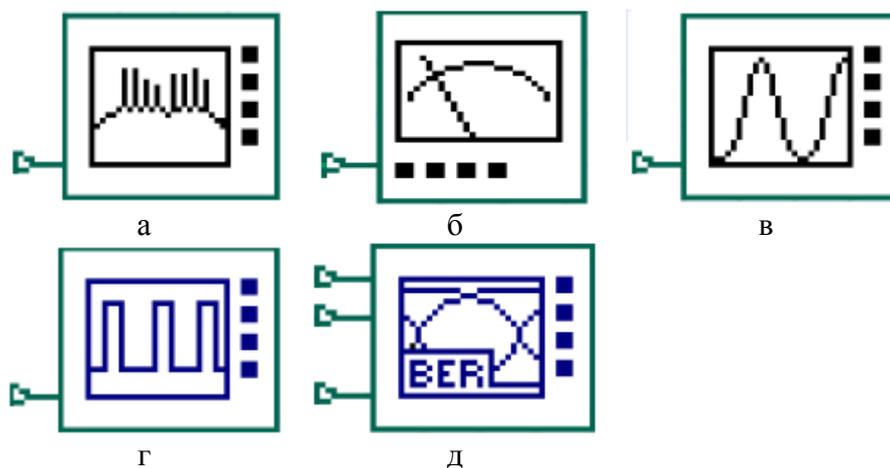


Рис. В3.1. Внешний вид измерительных приборов в лабораторных работах: а) оптический анализатор спектра, б) оптический измеритель мощности, в) оптический визуализатор во временной области, г) осциллограф, д) анализатор ошибок.

О спектрограмме

На изображении спектрограммы на экране OSA по оси X откладывается либо длина волны λ (нм), либо частота ν (Гц), по оси Y откладывается либо уровень мощности p (дБм), либо мощность P (Вт). Переключение единиц измерения производится с помощью выпадающих меню «Wavelength Units» и «Amplitude Units» на передней панели OSA.

Поставьте птичку в окне «Resolution Bandwidth» и установите разрешающую способность OSA в окне «Res» равной $\Delta\lambda = 0.01$ нм на передней панели OSA.

Определим связь между спектральной плотностью $S(\lambda)$ Вт/нм и мощностью излучения $P(\lambda)$, которая отображается по оси OSA в линейном масштабе

$$P(\lambda) = \int_{\lambda - \Delta\lambda/2}^{\lambda + \Delta\lambda/2} S(\lambda) \cdot d\lambda \approx S(\lambda) \cdot \Delta\lambda \text{ или } S(\lambda) \approx P(\lambda) / \Delta\lambda. \quad (\text{B3.1})$$

В логарифмическом масштабе размерность $S(\lambda)$ будет выражаться в единицах дБм/нм

Проведение измерений по спектрограмме

Для измерений используется выпадающее меню, которое можно вызвать нажатием левой кнопки мыши на значок в левом верхнем углу спектрограммы. Это меню можно также вызвать нажатием правой кнопки мыши на экране OSA. Рассмотрим некоторые пункты этого меню, которые позволяют выбирать удобный формат спектрограммы на экране, определять координаты отдельных точек на спектрограмме, определять расстояния по длине волны или частоте между точками на спектрограмме, разности уровней в дБ.

Пункт меню Zoom. Позволяет с помощью перемещения специального маркера в виде увеличивающей лупы выбрать участок спектрограммы, который будет развернут на весь экран OSA. Эту операцию можно повторять. Для возврата к исходному масштабу надо нажать клавишу «Auto Set».

Пункт меню Pan. Позволяет перемещать спектрограмму по экрану OSA с помощью мыши при нажатой левой кнопке мыши. Вернуть перемещенную спектрограмму в исходное положение можно с помощью клавиши «Auto Set».

Пункт меню Grid. Включает и выключает сетку на спектрограмме.

Пункт меню Marker. Управляет положением маркера. Появляется значок «+», который можно установить в любую точку спектрограммы. После нажатия левой кнопки мыши появляется обозначение выбранной точки *A*. Затем нажмите клавишу «Select». Далее можно продолжать выбирать необходимое положение точки *A*. Для получения координат точки *A* наведите на нее курсор и дважды нажмите левую кнопку мыши. Считайте координаты точки в появившемся окне «Marker properties». Для удаления точки *A* с экрана в этом же окне нажмите клавишу «Delete». Также можно выбрать положение и установить точку *B* и другие.

Пункт меню Region. Осуществляет выбор области на спектрограмме. Появляется значок «+», которым можно выделить область на спектрограмме. Двойное нажатие левой кнопки мыши позволяет определить координаты выбранной области (X_1, Y_1) и (X_2, Y_2) в окне «Region properties». Для удаления выбранной области с экрана в этом же окне нажмите клавишу «Delete».

Оптический измеритель мощности

Оптический измеритель мощности (Optical Power Meter, OPM) (рис. В3.1, б) позволяет получать значения средней мощности в Вт и уровня средней мощности в дБм.

Оптический визуализатор (осциллограф) во временной области

На экране оптического визуализатора во временной области (Optical Time Domain Visualizer, OTDV) (рис. В3.1, в) наблюдаем осциллограмму, т.е. зависимость оптической мощности от времени. По оси *X* с помощью выпадающего меню «Time Units» откладывается либо время в *t* (с), либо отдельные биты, а по оси *Y* с помощью выпадающего меню «Amplitude Units» либо мощность в Вт, либо уровень мощности в дБм. Существует возможность наблюдать сигнал с шумом и отдельно сигнал и шум, пользуясь меню слева от экрана осциллографа.

Для измерений используется выпадающее меню, аналогичное тому, которое используется в OSA. Оно может быть вызвано нажатием левой

кнопки мыши на значок в левом верхнем углу спектрограммы или нажатием правой кнопки мыши на экране OTDV.

Анализатор ошибок

Для определения качества связи и параметров принятого сигнала используется анализатор ошибок (BER Analyzer) (рис. В3.1, д). При установке галочки в окне «Show Eye Diagram» анализатора ошибок мы можем наблюдать глаз-диаграмму. Причем в режиме « Q -Factor» на глаз-диаграмму накладывается зависимость Q -фактора от момента принятия решения (стробирования) в пределах нескольких периодов тактовой частоты. В режимах «Min BER», «Threshold» и «Height» на глаз-диаграмму соответственно накладываются зависимости коэффициента ошибок, оптимального порога регенератора и ширины раскрытия глаз-диаграммы от того же аргумента.

Основные параметры, характеризующие качество связи в ВОСС приводятся в таблице «Analysis». Это максимальное значение Q -фактора (Max.Q Factor), соответствующее ему минимальное значение коэффициента ошибок (Min. BER) и относительный сдвиг момента стробирования относительно начала тактового интервала «Decision Inst».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«Исследование процессов распространения сигналов с амплитудной модуляцией по одномодовым оптическим волокнам с учетом хроматической дисперсии и нелинейных явлений»

Цель работы:

Изучение процессов распространения оптических импульсов и сигналов DWDM с амплитудной модуляцией по одномодовым стандартным оптическим волокнам (ОВ) с учетом хроматической дисперсии (ХД) и нелинейных явлений (НЯ): фазовой самомодуляции (ФСМ), фазовой кроссмодуляции (ФКМ), четырехволнового смешения (ЧВС). Определение влияния указанных процессов на качество связи, величину Q – фактора и вероятности ошибки.

Состав лабораторной установки

Схема лабораторной установки представлена на рис. 1.1. Она включает:

- Четыре одинаковых оптических передатчика с амплитудной бинарной модуляцией. Возможны варианты: с NRZ и RZ кодированием.
- Мультиплексор с четырьмя входами и демультиплексор с четырьмя выходами.
- Исследуемые волокна: стандартное ОВ (SF) и компенсирующее ОВ (DCF),
- Три одинаковых фотоприемника АМ сигналов, присоединенных к трем анализаторам ошибок (BER A)
- Измерительные приборы: оптические спектральные анализаторы (OSA), оптические измерители мощности (OPM), оптические осциллографы (визуализаторы OTDV), которые позволяют контролировать параметры оптического излучения во всех точках схемы.

Порядок выполнения работы

1.1. Варианты выполнения лабораторной работы задаются преподавателем. Примерные варианты заданий приведены в табл. 1.1. Общими для всех студентов данными являются: скорость передачи $B = 10$ Гбит/с, выбранные длины волн и параметры оптических передатчиков и приемников DWDM.

В связи с большой сложностью процессов, происходящих в ОВ и других элементах оптических трактов ВОСС, большим объемом необходимых исследований предлагается объединять в один исследовательский коллектив две бригады. Обе бригады (например, 1 и 2 или 3 и 4) исследуют один и тот же линейный тракт ВОСС, но с разными форматами кодирования NRZ и RZ. Бригады обмениваются полученными

результатами, что позволяет им сравнивать между собой параметры ВОСС с разными форматами кодирования.

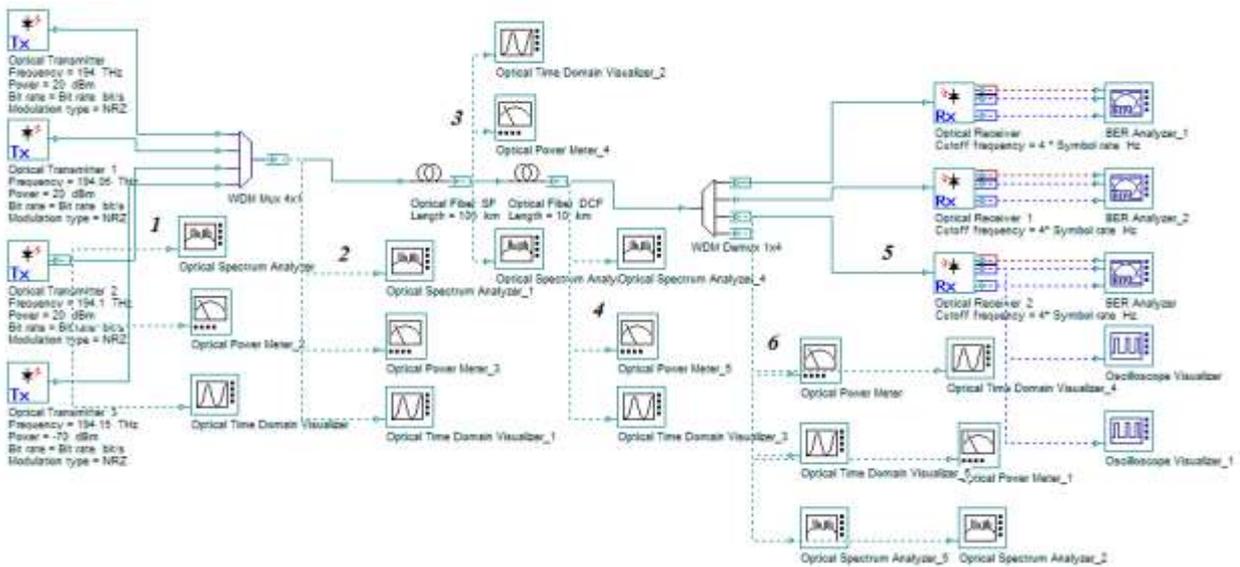


Рис. 1.1. Оптическая схема для моделирования четырехканальной ВОСС с бинарной АМ

Установите в схеме параметры ВОСС в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Для расчетов используйте параметры ОВ, приведенные в табл. 1.2.

Таблица 1.1. Примерные варианты заданий на выполнение лабораторной работы.

Вариант	Тип ОВ	L , км	Код
1	SF + DCF	80 + 8	NRZ
2	SF + DCF	80 + 8	RZ-50
3	SF + DCF	100 + 10	NRZ
4	SF + DCF	100 + 10	RZ-50
5	SF + DCF	120 + 12	NRZ
6	SF + DCF	120 + 12	RZ-50

Таблица 1.2. Основные параметры исследуемых ОВ на длине волны 1550 нм

Тип ОВ	Коэффициент затухания α , дБ/км	Коэффициент хроматической дисперсии D_x , пс/(нм км)	Наклон дисперсионной характеристики S_x , пс/(нм ² км)	Нелинейный показатель преломления n_2 , 1/(нм ² км)	Эффективная площадь моды A_{ef} , мкм ²
SF	0.2	+16.75	+0.075	$26 \cdot 10^{-21}$	80
DCF	0.4	-167.5	-0.75	$26 \cdot 10^{-21}$	20

1.2. Исследование влияния ХД и НЯ на форму и спектр сигналов одноканальной ВОСС с бинарной АМ. В одноканальной системе проявляются: хроматическая дисперсия (ХД) и фазовая самомодуляция.

Для компенсации ХД в стандартном ОВ (SF) используется компенсирующее ОВ (DCF).

1.2.1. Для исследования только влияния ХД и исключения НЯ используем малый уровень выходного сигнала передатчика. Для реализации одноканальной схемы установим заданный формат кодирования и следующие выходные уровни передатчиков: $p_{01} = p_{02} = p_{04} = -70$ дБм и $p_{03} = 0$ дБм.

Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в 6 точках исследуемой схемы, обозначенных на рис. 1.1, занесите в таблицу 1.3а.

Таблица 1.3а, 1.3б, 1.3в, 1.3г. Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в одноканальной схеме

№ точки	$p_{03} =$ дБм					
	1	2	3	4	5	6
p , дБм						
p_{OSA} , дБм						–
$\Delta\nu$, ГГц на уровне –3 дБ						–
$\Delta\nu$, ГГц На уровне –20 дБ						–
Q						

Измерения мощности p для таблицы 1.3а и других аналогичных таблиц проводятся с помощью ОРМ, измерения максимального значения мощности p_{OSA} , ширины спектра излучения $\Delta\nu$ на уровнях –3 дБ и –20 дБ проводятся с помощью OSA.

Проанализируйте осциллограммы сигналов в точках 1–6, спектрограммы в точках 1–6 и глаз-диаграмму на BER анализаторе. В точке 1 мы наблюдаем модулированный оптический сигнал на выходе передатчика, в точке 2 – сигнал на выходе мультиплексора, в точке 3 – сигнал на выходе телекоммуникационного ОВ, в точке 4 – сигнал на выходе компенсирующего ОВ, в точке 5 – сигнал на выходе демультиплексора и в точке 6 – помеху в 4 канале системы DWDM.

Кратко опишите, какие изменения претерпевают осциллограммы и спектрограммы от точки к точке, объясните глаз диаграмму.

1.2.2. Для исследования совместного действия ХД и НЯ будем использовать большие уровни мощности излучения, $p_{03}=10, 16$ и 20 дБм. Отметим, что сигнал на выходе телекоммуникационного ОВ искажен совместным действием ХД и ФСМ, а на выходе компенсирующего ОВ только ФСМ, т.к. влияние ХД в телекоммуникационном ОВ

скомпенсировано. Результаты измерений занесите в таблицы 1.3б, 1.3в, 1.3г.

Для отчета зарегистрируйте спектрограммы на выходе телекоммуникационного ОВ при входном сигнале 10, 16 и 20 дБм (3 спектрограммы) и осциллограммы на выходе фотоприемника до регенератора при входном сигнале 10, 16 и 20 дБм (3 осциллограммы).

Результаты измерений Q -фактора и ширины спектра излучения $\Delta\nu$ на выходе телекоммуникационного ОВ занесите в сводную табл. 1.4.

Используя таблицы 1.3 и 1.4, оцените пороговую мощность входного сигнала, ограниченную НЯ.

Таблица 1.4. Результаты измерений Q -фактора и ширины спектра излучения на выходе телекоммуникационного ОВ в одноканальной схеме

p , дБм	0	10	16	20
P , мВт	1	10	40	100
$\Delta\nu$, ГГц на уровне -20 дБ в точке 3				
Q				

1.3. Исследование влияния ХД и НЯ на форму и спектр сигналов двух и четырехканальных ВОСС с бинарной АМ. В многоканальных системах проявляются: ХД, ФСМ, фазовая кроссмодуляция (ФКМ) и четырехволновое смещение (ЧВС).

1.3.1. Для реализации двухканальной схемы установим следующие выходные уровни передатчиков: $p_{01} = p_{04} = -70$ дБм и $p_{03} = p_{02} = 10$ дБм.

Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в третьем канале в 6 точках исследуемой схемы, обозначенных на рис. 1.1, занесите в таблицу 1.5а.

Повторите измерения в двухканальной ВОСС при повышенных уровнях входного сигнала 16 и 19 дБм. Результаты измерений занесите в таблицы 1.5б и 1.5в.

Проанализируйте осциллограммы, спектрограммы и глаз-диаграмму зарегистрируйте некоторые из них, используя указания из пункта 1.2.1 этой работы.

1.3.2. Для реализации четырехканальной схемы установим следующие выходные уровни передатчиков: $p_{01} = p_{02} = p_{03} = p_{04} = 10$ дБм.

Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в третьем канале в 6 точках исследуемой схемы, обозначенных на рис. 1.1, занесите в таблицу 1.6а.

Повторите измерения в четырехканальной ВОСС при повышенных уровнях входного сигнала 16 и 19 дБм. Результаты измерений занесите в таблицы 1.6б и 1.6в.

Таблица 1.5а, 1.5б, 1.5в. Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в третьем канале в двухканальной схеме

№ точки	$p_{02} = p_{03} =$ дБм					
	1	2	3	4	5	6
p_3 , дБм						
p_{30SA} , дБм						–
$\Delta\nu_3$, ГГц на уровне –3 дБ						–
$\Delta\nu_3$, ГГц На уровне –20 дБ						–
Q						

Таблица 1.6а, 1.6б, 1.6в. Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в третьем канале в четырехканальной схеме

№ точки	$p_{01} = p_{02} = p_{03} = p_{04} =$ дБм					
	1	2	3	4	5	6
p_3 , дБм						
p_{30SA} , дБм						–
$\Delta\nu_3$, ГГц на уровне –3 дБ						–
$\Delta\nu_3$, ГГц на уровне –20 дБ						–
Q						

Проанализируйте осциллограммы, спектрограммы и глаз-диаграмму зарегистрируйте некоторые из них, используя указания из пункта 1.2.1 этой работы.

1.3.3. Результаты измерений Q - фактора и ширины спектра излучения $\Delta\nu$ на выходе телекоммуникационного ОВ для одноканальной, двухканальной и четырехканальной ВОСС занесите в сводную табл. 1.7.

Объясните результаты измерений, приведенные в табл. 1.7.

Таблица 1.7. Результаты измерений Q -фактора и ширины спектра излучения на выходе телекоммуникационного ОВ

Количество каналов	p , дБм	0	10	16	20
	P , мВт	1	10	40	100
1	$\Delta\nu$, ГГц на уровне –20 дБ в точке 3				
	Q				
2	$\Delta\nu$, ГГц на уровне –20 дБ в точке 3				
	Q				
4	$\Delta\nu$, ГГц на уровне –20 дБ в точке 3				
	Q				

Содержание отчета

1. Двенадцать таблиц по формам 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 и 1.7.
2. Осциллограммы, спектрограммы в соответствии с указаниями в 1.2.1.
3. Выводы по результатам, приведенным в таблицах, и комментарии к осциллограммам и спектрограммам.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие изменения спектра оптического сигнала происходят от передатчика после прохождения телекоммуникационного ОВ, а затем после компенсирующего ОВ для одноканальной ВОСС?
2. Какие изменения формы оптического сигнала происходят от передатчика после прохождения телекоммуникационного ОВ, а затем компенсирующего ОВ для одноканальной ВОСС?
3. Каковы причины возникновения фазовой самомодуляции, и как она влияет на спектр и форму проходящего через телекоммуникационное ОВ сигнала? При одном, двух и четырех каналах?
4. Каковы причины возникновения фазовой кроссmodуляции, и как она влияет на спектр и форму проходящего через телекоммуникационное ОВ сигнала? При одном, двух и четырех каналах?
5. Каковы причины возникновения четырехволнового смещения, и как оно влияет на спектр и форму проходящего через телекоммуникационное ОВ сигнала? При одном, двух и четырех каналах?
6. Как определяется Q – фактор, и как он связан с вероятностью ошибки?
7. Можно ли оценить Q – фактор по глаз-диаграмме?
8. Какова форма оптического сигнала при NRZ и RZ кодировании?
9. Каков спектр оптического сигнала на выходе передатчика при NRZ и RZ кодировании? У какого сигнала ширина полосы частот больше?
10. Какие эффекты, искажающие оптический сигнал, устраняет использование компенсирующего ОВ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«Исследование процессов распространения сигналов с бинарной фазовой модуляцией по одномодовым оптическим волокнам с учетом хроматической дисперсии и нелинейных явлений»

Цель работы:

Изучение процессов распространения оптических импульсов и сигналов DWDM с фазовой модуляцией по одномодовым стандартным оптическим волокнам (ОВ) с учетом хроматической дисперсии (ХД) и нелинейных явлений (НЯ): фазовой самомодуляции (ФСМ), фазовой кроссмодуляции (ФКМ), четырехволнового смешения (ЧВС). Определение влияния указанных процессов на качество связи, величину Q -фактора и вероятности ошибки.

Состав лабораторной установки

Схема лабораторной установки представлена на рис. 2.1. Она включает:

- Четыре одинаковых оптических передатчика с фазовой бинарной модуляцией. Возможны варианты: с NRZ и RZ кодированием.
- Мультиплексор с четырьмя входами и демультиплексор с четырьмя выходами.
- Исследуемые волокна: стандартное ОВ (SF) и компенсирующее ОВ (DCF),
- Три одинаковых фотоприемника АМ сигналов, присоединенных к трем анализаторам ошибок (BER A)
- Измерительные приборы: оптические спектральные анализаторы (OSA), оптические измерители мощности (OPM), оптические осциллографы (визуализаторы OTDV), которые позволяют контролировать параметры оптического излучения во всех точках схемы.

Порядок выполнения работы

2.1. Варианты выполнения лабораторной работы задаются преподавателем. Примерные варианты заданий приведены в табл. 1.1. Общими для всех студентов данными являются: скорость передачи $B = 10$ Гбит/с, выбранные длины волн и параметры оптических передатчиков и приемников DWDM.

В связи с большой сложностью процессов, происходящих в ОВ и других элементах оптических трактов ВОСС, большим объемом необходимых исследований предлагается объединять в один исследовательский коллектив две бригады. Обе бригады (например, 1 и 2 или 3 и 4) исследуют один и тот же линейный тракт ВОСС, но с разными форматами кодирования NRZ и RZ. Бригады обмениваются полученными

результатами, что позволяет им сравнивать между собой параметры ВОСС с разными форматами кодирования.

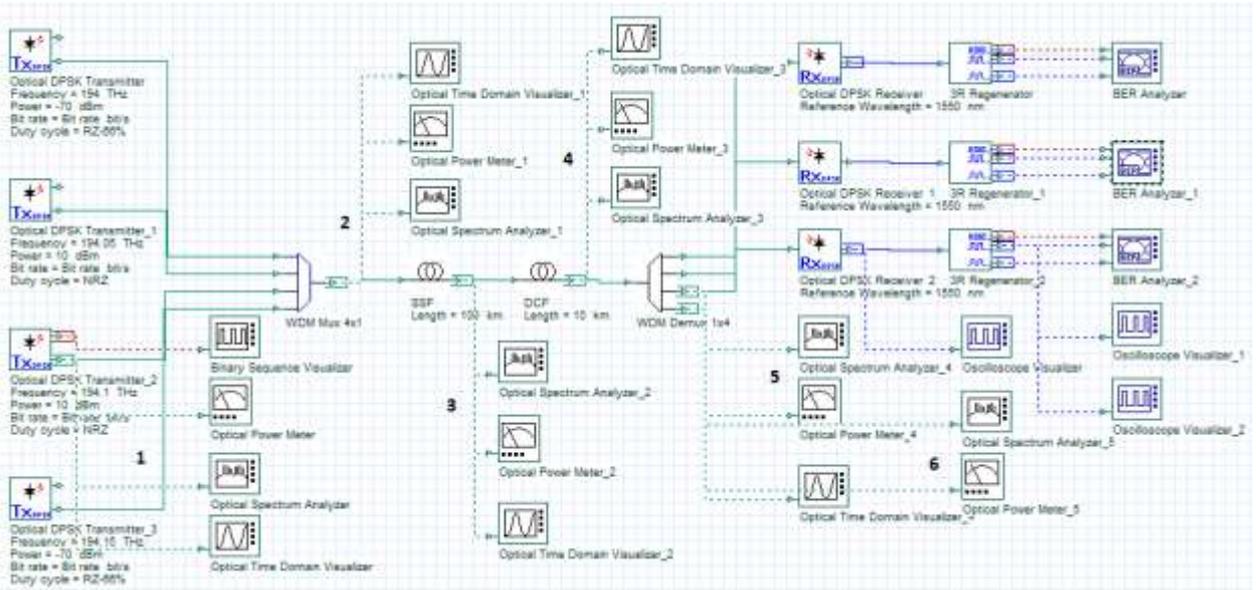


Рис. 2.1. Оптическая схема для моделирования четырехканальной ВОСС с бинарной ФМ

Установите в схеме параметры ВОСС в соответствии с заданным преподавателем вариантом. Для расчетов используйте параметры ОВ, приведенные в табл. 1.2.

2.2. Исследование влияния ХД и НЯ на форму и спектр сигналов одноканальной ВОСС с бинарной ФМ. В одноканальной системе проявляются: хроматическая дисперсия (ХД) и фазовая самомодуляция. Для компенсации ХД в стандартном ОВ (SF) используется компенсирующее ОВ (DCF).

2.2.1. Для исследования только влияния ХД и исключения НЯ используем малый уровень выходного сигнала передатчика. Для реализации одноканальной схемы установим заданный формат кодирования и следующие выходные уровни передатчиков: $p_{01} = p_{02} = p_{04} = -70$ дБм и $p_{03} = 0$ дБм.

Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в 6 точках исследуемой схемы, обозначенных на рис. 2.1, занесите в табл. 2.1а.

Измерения мощности p для таблицы 2.1а и других аналогичных таблиц проводятся с помощью ОРМ, измерения максимального значения мощности p_{OSA} , ширины спектра излучения $\Delta\nu$ на уровнях -3 дБ и -20 дБ проводятся с помощью OSA.

Таблица 2.1а, 2.1б, 2.1в, 2.1г. Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в одноканальной схеме

№ точки	$p_{03} =$ дБм					
	1	2	3	4	5	6
p , дБм						
p_{OSA} , дБм						–
$\Delta\nu$, ГГц на уровне –3 дБ						–
$\Delta\nu$, ГГц На уровне –20 дБ						–
Q						

Проанализируйте осциллограммы сигналов в точках 1–6, спектрограммы в точках 1–6 и глаз-диаграмму на BER анализаторе. В точке 1 мы наблюдаем модулированный оптический сигнал на выходе передатчика, в точке 2 – сигнал на выходе мультиплексора, в точке 3 – сигнал на выходе телекоммуникационного ОВ, в точке 4 – сигнал на выходе компенсирующего ОВ, в точке 5 – сигнал на выходе демультиплексора и в точке 6 – помеху в 4 канале системы DWDM.

Кратко опишите, какие изменения претерпевают осциллограммы и спектрограммы от точки к точке, объясните глаз диаграмму.

2.2.2. Для исследования совместного действия ХД и НЯ будем использовать большие уровни мощности излучения, $p_{03} = 10, 16$ и 20 дБм. Отметим, что сигнал на выходе телекоммуникационного ОВ искажен совместным действием ХД и ФСМ, а на выходе компенсирующего ОВ только ФСМ, т.к. влияние ХД в телекоммуникационном ОВ скомпенсировано. Результаты измерений занесите в таблицы 2.1б, 2.1в, 2.1г.

Проанализируйте осциллограммы, спектрограммы и глаз-диаграммы. Для отчета зарегистрируйте спектрограммы на выходе телекоммуникационного ОВ при входных сигналах 10, 16 и 20 дБм (всего 3 спектрограммы) и осциллограммы на выходе фотоприемника до регенератора при тех же входных сигналах (всего 3 осциллограммы).

Результаты измерений Q -фактора и ширины спектра излучения $\Delta\nu$ на выходе телекоммуникационного ОВ занесите в сводную табл. 2.2.

Таблица 2.2. Результаты измерений Q -фактора и ширины спектра излучения на выходе телекоммуникационного ОВ в одноканальной схеме

p , дБм	0	10	16	20
P , мВт	1	10	40	100
$\Delta\nu$, ГГц на уровне –20 дБ в точке 3				
Q				

Используя таблицы 2.1 и 2.2, оцените пороговую мощность входного сигнала, ограниченную нелинейными явлениями.

2.3. Исследование влияния ХД и НЯ на форму и спектр сигналов двух и четырехканальных ВОСС с бинарной ФМ. В многоканальных системах проявляются: ХД, ФСМ, фазовая кроссмодуляция (ФКМ) и четырехволновое смещение (ЧВС).

2.3.1. Для реализации двухканальной схемы установим следующие выходные уровни передатчиков: $p_{01} = p_{04} = -70$ дБм и $p_{03} = p_{02} = 10$ дБм.

Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в третьем канале в 6 точках исследуемой схемы, обозначенных на рис. 2.1, занесите в таблицу 2.3а.

Таблица 2.3а, 2.3б, 2.3в. Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в третьем канале в двухканальной схеме

№ точки	$p_{02} = p_{03} =$ дБм					
	1	2	3	4	5	6
p_3 , дБм						
p_{30SA} , дБм						—
$\Delta\nu_3$, ГГц на уровне -3 дБ						—
$\Delta\nu_3$, ГГц На уровне -20 дБ						—
Q						

Повторите измерения в двухканальной ВОСС при повышенных уровнях входного сигнала 16 и 19 дБм. Результаты измерений занесите в таблицы 2.3б и 2.3в.

Проанализируйте осциллограммы, спектрограммы и глаз-диаграмму зарегистрируйте некоторые из них, используя указания из п. 2.2.2 этой работы.

2.3.2. Для реализации четырехканальной схемы установите следующие выходные уровни передатчиков: $p_{01} = p_{02} = p_{03} = p_{04} = 10$ дБм.

Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в третьем канале в 6 точках исследуемой схемы, обозначенных на рис. 2.1, занесите в таблицу 2.4а.

Повторите измерения в четырехканальной ВОСС при повышенных уровнях входного сигнала 16 и 19 дБм. Результаты измерений занесите в таблицы 2.4б и 2.4в.

Проанализируйте осциллограммы, спектрограммы и глаз-диаграмму зарегистрируйте некоторые из них, используя указания из п. 2.2.2 этой работы.

Таблица 2.4а, 2.4б, 2.4в. Результаты измерений уровней мощности и ширины спектра излучения в третьем канале в четырехканальной схеме

№ точки	$p_{01} = p_{02} = p_{03} = p_{04} =$ дБм					
	1	2	3	4	5	6
p_3 , дБм						
p_{3OSA} , дБм						–
$\Delta\nu_3$, ГГц на уровне –3 дБ						–
$\Delta\nu_3$, ГГц на уровне –20 дБ						–
Q						

2.3.3. Результаты измерений Q-фактора и ширины спектра излучения $\Delta\nu$ на выходе телекоммуникационного ОВ для одноканальной, двухканальной и четырехканальной ВОСС занесите в сводную таблицу 2.5. Объясните результаты измерений, приведенные в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Результаты измерений Q-фактора и ширины спектра излучения на выходе телекоммуникационного ОВ

Количество каналов	p , дБм	0	10	16	20
	P , мВт	1	10	40	100
1	$\Delta\nu$, ГГц на уровне –20 дБ в точке 3				
	Q				
2	$\Delta\nu$, ГГц на уровне –20 дБ в точке 3				
	Q				
4	$\Delta\nu$, ГГц на уровне –20 дБ в точке 3				
	Q				

Содержание отчета

1. Двенадцать таблиц по формам 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 и 2.5.
2. Осциллограммы, спектрограммы в соответствии с указаниями в 2.2.2.
3. Выводы по результатам, приведенным в таблицах, и комментарии к осциллограммам и спектрограммам.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие изменения спектра оптического сигнала с ФМ происходят от передатчика после прохождения телекоммуникационного ОВ, а затем после компенсирующего ОВ для одноканальной ВОСС?
2. Какие изменения формы оптического сигнала с ФМ происходят от передатчика после прохождения телекоммуникационного ОВ, а затем компенсирующего ОВ для одноканальной ВОСС?

3. Каковы причины возникновения фазовой самомодуляции, и как она влияет на спектр и форму проходящего через телекоммуникационное ОВ сигнала с ФМ? При одном, двух и четырех каналах?
4. Каковы причины возникновения фазовой кроссмодуляции, и как она влияет на спектр и форму проходящего через телекоммуникационное ОВ сигнала с ФМ? При одном, двух и четырех каналах?
5. Каковы причины возникновения четырехволнового смещения, и как оно влияет на спектр и форму проходящего через телекоммуникационное ОВ сигнала с ФМ? При одном, двух и четырех каналах?
6. Как определяется Q – фактор, и как он связан с вероятностью ошибки?
7. Как оценить Q – фактор по глаздиаграмме?
8. Какова форма оптического сигнала с ФМ при NRZ и RZ кодировании?
9. Каков спектр оптического сигнала с ФМ на выходе передатчика при NRZ и RZ кодировании? У какого сигнала ширина полосы частот больше?
10. Какие эффекты, искажающие оптический сигнал с ФМ, устраняет использование компенсирующего ОВ?

**Былина Мария Сергеевна
Глаголев Сергей Федорович
Дюбов Андрей Сергеевич**

Нелинейная оптика и активные компоненты

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ**

Редактор ...

Компьютерная верстка ...

План издания 2017 г., п. ...

Подписано к печати 25.11.2016

Объем ... усл.-печ. л. Тираж ... экз. Заказ ...

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ
191186 СПб., наб. р. Мойки, 61

Отпечатано в СПбГУТ