

ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ В ОДНОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ И СПОСОБОВ ЕЕ КОМПЕНСАЦИИ

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИРУЕМОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Общие сведения.

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

- Набор переключаемых одномодовых лазерных источников излучения с фиксированными длинами волн в диапазоне 1518-1586 нм с шагом 4 нм (Набор источников для перекрытия диапазона DWDM). Для проведения исследований в лабораторной установке предусмотрено изменение: ширины спектра излучения источников в пределах от 0.0001 до 3 нм, длительности импульсов гауссовской формы в пределах от 0.001 до 10 нс, параметров паразитной линейной частотной модуляции («чирпинга») в пределах от -2 до 2.

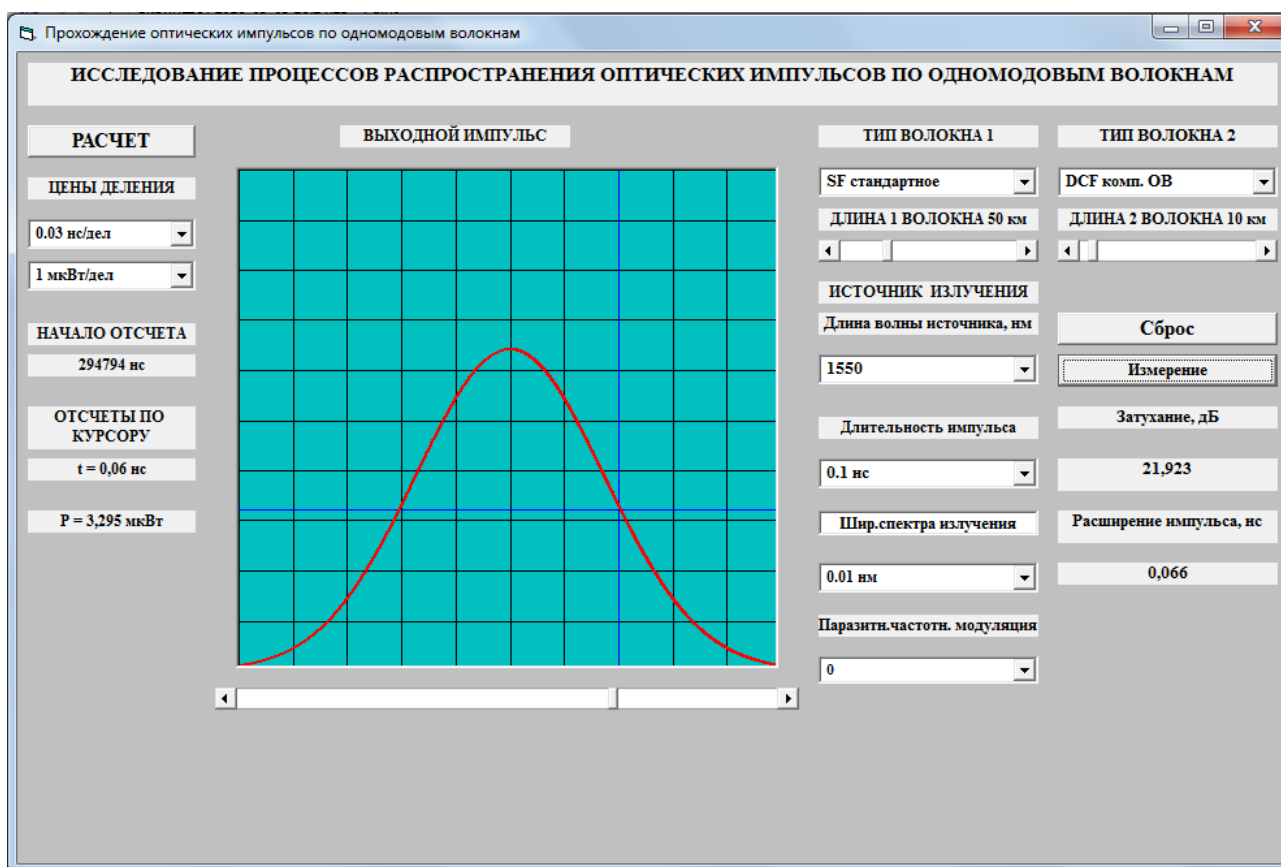


Рис. 1. Внешний вид экрана лабораторной установки

- Фотоприемное устройство с коррекцией чувствительности на каждой длине волны источников излучения.
- Осциллограф, работающий в режиме внешней синхронизации и снабженный функциями:

отображения формы входного и выходного импульсов,

регулируемыми 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, позволяющую рассчитать затухание и расширение импульса в линейном тракте.

- Линейный тракт, состоящий из двух последовательно соединенных ОБ нескольких типов, длины ОБ могут изменяться в пределах от 0 до 200 км.

На экране осциллографа можно наблюдать формы оптических импульсов на входе в линейный оптический тракт (ЛОТ) 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.

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 точк, 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 ОБ, который позволяет выбрать для исследования:

1. стандартное ОБ (SF) в соответствии с рекомендациями МСЭ G.652,
2. стандартное ОБ (SF) в соответствии с рекомендациями МСЭ G.652D без водяного пика затухания,
3. ОБ со смещенной дисперсией (DSF), в соответствии с рекомендациями МСЭ G.653,
4. ОБ 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 ОВ.

Отметим, что реальные источники излучения могут иметь частотную модуляцию (чирпинг), 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

Определите частоты крайних каналов по выражениям

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

Определите длины волн центрального и крайних каналов по выражениям

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

где c – скорость света в вакууме.

Определите длительность входного импульса по выражению

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

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 таблицу 1.2.
- 1.8. Определите задержку выходного импульса, которая определяет начало отсчета выходного импульса t_3 . При этом вертикальный курсор должен быть совмещен с максимальным значением мощности. Отсчет по курсору должен быть равен $t=0$.
- 1.9. Для определения затухания a и величины расширения импульса Δt используйте уже описанную процедуру.
- 1.10. Проведите расчеты скорости распространения оптических импульсов V , коэффициента затухания α и удельного расширения импульсов δt для всех длин волн по следующим формулам:

$$V_g = \frac{L}{t_3} \quad (1.5)$$

$$\alpha = \frac{a}{L} \quad (1.6)$$

$$\delta t = \frac{\Delta t}{L} \quad (1.7)$$

и внесите результаты расчетов в таблицу 1.2.

- 1.11. Проанализируйте результаты моделирования процессов распространения оптических сигналов с DWDM, приведенных в таблице 1.2. Сделайте вывод о возможности использования исследуемых ОВ для построения ВОСС по критерию

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

В таблице 1.2 отметьте возможность использования знаком +, а невозможность знаком -.

Таблица 1.2. Результаты экспериментальных исследований и расчетов.

Исх. Данные	$L=100$ км	$B=2,5$ ГГц/с	$N=41$	$\Delta\nu=50$ МГц	$\Delta\lambda=0,1$ нм	
Тип ОВ	SF			+NZ DSF		
λ , нм	<i>min</i>	<i>0</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>0</i>	<i>max</i>
	1554	1546	1538	1554	1546	1538
P_t , мкВт	999,7	999,7	999,7	1000	1000	1000
t_3 , нс	489738	489738	489738			
a , дБ	28	28	28	21	21	21
Δt , пс	97	97	97			
V , км/с						
α , дБ/км						
$\Delta t/\Delta l$, пс/км						
Возможность использования						

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Исходные данные. Результаты предварительных расчетов и расчетов по экспериментальным данным.
2. Таблица 1.2 с исходными данными, результатами исследований и расчетов.
3. 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 для компенсации ХД»

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 таблицу 2.1. Целями измерения являются выполнение двух условий, которые проверяются после каждого шага:

$$\text{первое безусловное } \Delta t \leq \Delta t_d; \quad (1.8)$$

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 Lk изменяется на каждом i - 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 $i-1$ 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

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

Заданное количество 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 таблицу 2.1.

Таблица 2.1. Результаты процесса подбора оптимальной длины компенсирующего ОВ

Шаг	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$L_k, \text{км}$	$L/2$	$L/4$							
$\Delta L, \text{км}$	$L/4$	$L/8$	$L/16$	$L/32$	$L/64$	$L/128$	$L/256$	$L/512$	$L/1024$
$P_i, \text{мВт}$									
$\Delta t, \text{нс}$									
$a, \text{дБ}$									
Выбор									

В ячейки для L_k и ΔL поместите числовые значения.

- 2.6. Из таблицы 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 L_k определите величины Δt и a для центральной и крайних длин волн системы DWDM и поместите их в таблицу 2.2. Определите максимальный разброс величин P_i , Δt и a между каналами системы DWDM.

Таблица 2.2. Результаты экспериментальных исследований.

$L_k = \text{--- км}$				Макс. разбросы величин между каналами
$\lambda, \text{ нм}$	<i>min</i>	<i>0</i>	<i>max</i>	
$P_l, \text{ мВт}$				
$\Delta t, \text{ пс}$				
$a, \text{ дБ}$				
$P_0, \text{ мВт}$				

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

$$P_l = P_{10} \cdot \sqrt{\frac{B}{B_0}}. \quad (2.7)$$

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

$$P_{oi} = P_l \cdot \text{dec}\left(\frac{a_i}{10}\right). \quad (2.8)$$

Оператор в выражении (2.8) выполняет функцию $\text{dec}(x)=10^x$. Результаты расчетов занесите в таблицу 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 (L_k) 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 таблицу 3.1.

Таблица 3.1. Результаты процесса подбора оптимального чирпинга источника излучения

Исходные данные	Тип ОВ		$\lambda_0 = \underline{\hspace{1cm}}$ нм	$L = \underline{\hspace{1cm}}$ км	$B = \underline{\hspace{1cm}}$ ГГц/с	$N = \underline{\hspace{1cm}}$	$\Delta\nu = \underline{\hspace{1cm}}$ МГц	$\Delta\lambda = \underline{\hspace{1cm}}$ нм	
	C	-2	-1.75	-1.5	-1.25	-1.0	-0.75	-0.5	-0.25
$P_l, мВт$									
$a, дБ$									
$\Delta t, пс$									
Выбор									
C	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2	
$P_l, мВт$									
$a, дБ$									
$\Delta t, пс$									
Выбор									

- 3.4. 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 таблицу 3.2.

Таблица 3.2. Результаты экспериментальных исследований.

$C = \underline{\quad}$				Макс. разбросы величин между каналами
$\lambda, \text{ нм}$	<i>min</i>	<i>0</i>	<i>max</i>	
$P_l, \text{ мВт}$				
$\Delta t, \text{ пс}$				
$a, \text{ дБ}$				
$P_0, \text{ мВт}$				

- 3.5. 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).
- 3.6. 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 2.1 и 2.2 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.