

Цикл лабораторных работ
по исследованию процессов в линейных трактах волоконно-оптических
систем связи с DWDM, использующих одномодовые оптические волокна
с учетом линейных и нелинейных явлений.

Лабораторная работа 1
Исследования ВОСС с амплитудной модуляцией и энергетическим
приемом

1. Описание базовой лабораторной установки

На рис. 1 показана базовая схема виртуальной лабораторной установки, которая содержит 4-х канальную волоконно-оптическую систему связи ВОСС с амплитудной модуляцией (АМ) и скоростью передачи 10 Гбит/с.

Она содержит четыре оптических передатчика Tx с несущими частотами $\nu_0=194, 194.05, 194.1, 194.15$ ТГц с. Сами источники излучения имеют собственную полосу частот $\Delta\nu=10$ МГц. Уровень их мощности можно изменять в широких пределах. Встроенные амплитудные модуляторы обеспечивают формирование прямоугольных импульсов, и позволяют использовать форматы кодирования NRZ и RZ с любой скважностью.

Излучения отдельных каналов объединяются в одном стандартном оптическом волокне (ОВ) длиной L , которое обозначено на схеме SF. Для объединения каналов используется четырехпортовый мультиплексор (WDM MUX) с полосой пропускания $\Delta F=20$ ГГц. Параметры ОВ SF на длине волны 1550 нм: коэффициент затухания $\alpha=0.2$ дБ/км, эффективная площадь основной моды $A_{ef}=82$ мм², коэффициент хроматической дисперсии (ХД) $D_x=17$ пс/(нм км), наклон ХД $S_x=0.058$ пс/(нм² км), $RDS=S_x/D_x=0.0034$ 1/нм, нелинейная составляющая показателя преломления $n_2 = 2.35 \cdot 10^{-20}$ м²/Вт.

Для компенсации ХД используется ОВ DCF длиной L_c . Его параметры на длине волны 1550 нм: $\alpha_c=0.4$ дБ/км, $A_{efc}=21$ мм², $D_{xc}=-103$ пс/(нм км), $S_{xc}=-0.35$ пс/(нм² км), $RDS_c=S_{xc}/D_{xc}=0.0034$ 1/нм, нелинейная составляющая показателя преломления $n_{2c} = 2.31 \cdot 10^{-20}$ м²/Вт.

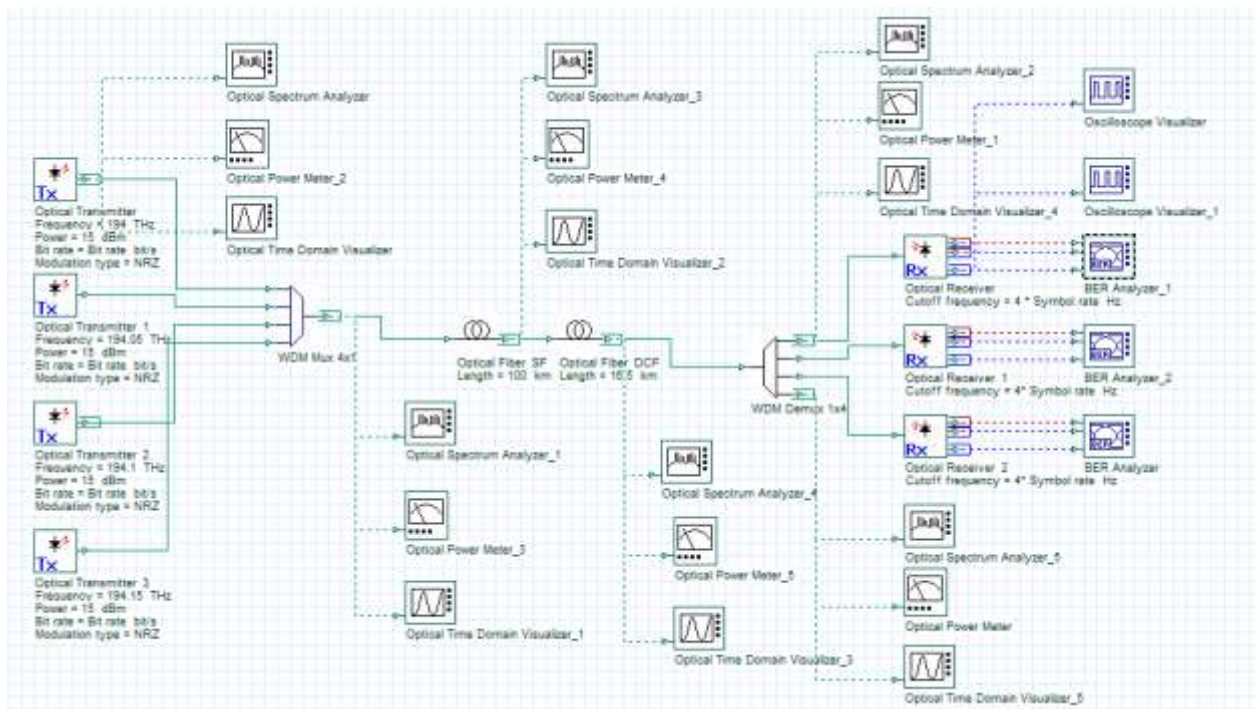


Рис. 1. Схема исследования 4-х канальной ВОСС с амплитудной модуляцией

На приемном конце для разделения каналов используется четырехканальный оптический демультиплексор (WDM Demux), к трем выходам которого подключены оптические приемники RX, содержащие фотоприемник, усилитель фототока и 3R регенератор, который выполняет 3 функции: усиление (reamplifying-восстановление амплитуды), восстановление формы (resharpping) и восстановление синхронизации (retiming).

Для контроля качества принятых сигналов используется анализатор ошибок (BER Analyzer), с помощью которого можно наблюдать глаз-диаграмму, определять максимальное значение Q - фактора и минимальный коэффициент ошибок.

Для проведения исследований процессов в различных точках линейного тракта в схеме установлены измерительные приборы: измеритель оптической мощности (Optical Power Meter), оптический осциллограф (Optical Time Domain Visualizer) и оптический анализатор спектра (Optical Spectrum Analyzer).

2. Исследование одноканальной ВОСС с АМ

В одноканальной схеме на процессы распространения сигналов и на качество связи в основном оказывают влияние линейные явления в ОВ: затухание и ХД, и нелинейное явление - фазовая самомодуляция (ФСМ).

Цель исследования состоит в определении вкладов линейных и нелинейных явлений в процессы распространения сигналов, оценки искажения сигналов во временной и частотной областях и оценки качества связи.

Предварительные расчеты.

Рассчитайте длину телекоммуникационного стандартного ОВ в соответствии с заданным преподавателем вариантом n

$$L=80+(n-1) 10 \text{ км.} \quad (1)$$

Рассчитайте ширину тактового интервала T_0 для Вашей скорости передачи.

Рассчитайте длину компенсирующего ОВ для Вашего варианта, пользуясь выше приведенными параметрами ОВ.

1. Определите длины волн излучения источников для всех используемых каналов.
2. Определите для 1 канала длину компенсирующего ОВ, обеспечивающую полную компенсацию ХД из уравнения .

$$[D_{SF}(\lambda_c) + S_{SF} \cdot (\lambda - \lambda_c)] \cdot l_{SF} + [D_{DCF}(\lambda_c) + S_{DCF} \cdot (\lambda - \lambda_c)] \cdot l_{DCF} = \Delta t = 0, \quad (2)$$

где Δt – расширение импульса за счет ХД на длине волны λ ,

$D_{SF}(\lambda_c)$, $D_{DCF}(\lambda_c)$ – коэффициенты ХД для стандартного и компенсирующего ОВ на длине волны λ_c ;

$S_{SF}(\lambda_c)$, $S_{DCF}(\lambda_c)$ – наклоны коэффициентов ХД ($dD_{SF}/d\lambda$ и $dD_{DCF}/d\lambda$) для стандартного и компенсирующего ОВ на длине волны λ_c ;

l_{SF} , l_{DCF} – длины стандартного и компенсирующего ОВ.

3. Рассчитайте по формуле (2) расширение импульсов Δt для всех 4-х длин волн после компенсации ХД.
4. Сравните результаты расчетов расширения импульсов Δt с длительностью тактового интервала T_0 . Сделайте выводы.

Результаты предварительных расчетов поместите в таблицу 1.

Таблица 1

Вар.	l_{SF} , км	l_{DCF} , км	Δt , пс при λ в нм			
			$\lambda_1=$	$\lambda_2=$	$\lambda_3=$	$\lambda_4=$

Предварительные установки параметров.

1. Запустите программу лабораторной работы.
2. Скорректируйте параметры ОВ в соответствии с результатами Ваших расчетов. Для этого нужно дважды кликнуть на выбранном элементе.

3. Для создания одноканальной ВОСС установите уровни мощности излучателей в каналах 2, 3 и 4 равными -80 дБм.

Исследования

В первом канале устанавливайте на передатчике поочередно уровни от $p_0=0$ до 26 дБм и проведите измерения уровней мощности на входе в ОБ1 p_{mix} , на входе в ОБ2 p_{OB1} , на его выходе p_{OB2} , а также на выходе 1 канала Demux. При этом измеряем Q – фактор. Результаты измерений для кода NRZ поместите в таблицу 2. Зарегистрируйте типичные осциллограммы, спектрограммы и глаз диаграммы для малых и больших сигналов.

Таблица 2

p_0 , дБм	0					20	26
p_{mix} , дБм		-	-	-	-		
p_{OB1} , дБм		-	-	-	-		
p_{OB2} , дБм		-	-	-	-		
p_{Demux} , дБм		-	-	-	-		
Q							
Коммент.							

Сделайте выводы по таблице 1 и по зарегистрированным осциллограммам и спектрограммам. Объясните характер изменений уровней мощностей от точки к точке при слабом и большом сигналах. Изучая зависимость $Q(p_0)$ определите области входных мощностей, при которых нелинейные явления не проявляются. При этом надо также анализировать изменения спектра на выходе телекоммуникационного и компенсирующего ОБ

Проведите аналогичные исследования процессов распространения сигналов и зависимости качества связи при RZ-х кодировании от величины относительной длительности импульса x в процентах. Для кода NRZ возьмите данные из таблицы 2.

Таблица 3.

Код	p_0 , дБм	0				20	26
NRZ	p_{OB2} , дБм						
	Q						
	Коммент.						
RZ-80	p_{OB2} , дБм						
	Q						
	Коммент.						
RZ-60	p_{OB2} , дБм						
	Q						
	Коммент.						
RZ-40	p_{OB2} , дБм						
	Q						
	Коммент.						

Выберите из таблицы 3 наилучший тип кодирования.

3. Исследование четырехканальной ВОСС с АМ

В четырехканальной схеме на процессы распространения сигналов и на качество связи оказывают влияние линейные явления: затухание и ХД, и нелинейные явления: ФСМ, фазовая кроссмодуляция (ФКМ) и четырехволновое смешение (ЧВС).

Цель исследования состоит в определении вкладов линейных и нелинейных явлений в процессы распространения многоканальной сигналов, оценки искажения сигналов во временной и частотной областях и оценки качества связи.

Уровни мощности во всех каналах будем устанавливать одинаковыми в пределах от 0 до 26 дБм. Зарегистрируйте типичные осциллограммы, спектрограммы и глаз диаграммы для малых и больших сигналов при кодах NRZ и RZ с максимальной скважностью. Сравнивая результаты, полученные для одноканальной и четырехканальной ВОСС, попробуйте оценить вклад в изменения сигнала от ФСМ, ФКМ и ЧВС.

Таблица 4.

Код	p_0 , дБм	0				20	26
NRZ	p_{0B2} , дБм						
	Q_1						
	Q_2						
	Q_3						
	Коммент.						
RZ-80	p_{0B2} , дБм						
	Q_1						
	Q_2						
	Q_3						
	Коммент.						
RZ-60	p_{0B2} , дБм						
	Q_1						
	Q_2						
	Q_3						
	Коммент.						
RZ-40	p_{0B2} , дБм						
	Q_1						
	Q_2						
	Q_3						
	Коммент.						

Выберите из таблицы 4 наилучший тип кодирования для четырехканальной ВОСС.

Лабораторная работа 2

Исследования ВОСС с фазовой бинарной модуляцией и энергетическим приемом

1. Описание базовой лабораторной установки

Схема исследования показана на рис. 2. В ней используются те же ОВ, что и в схеме рис. 1. Она отличается от предыдущей схемы рис. 1 тем, что в ней используются оптические передатчики Tx_{DPSK} с бинарной фазовой модуляцией (ФМ), а в линейном тракте используется оптический усилитель, установленный перед $Dmux$.

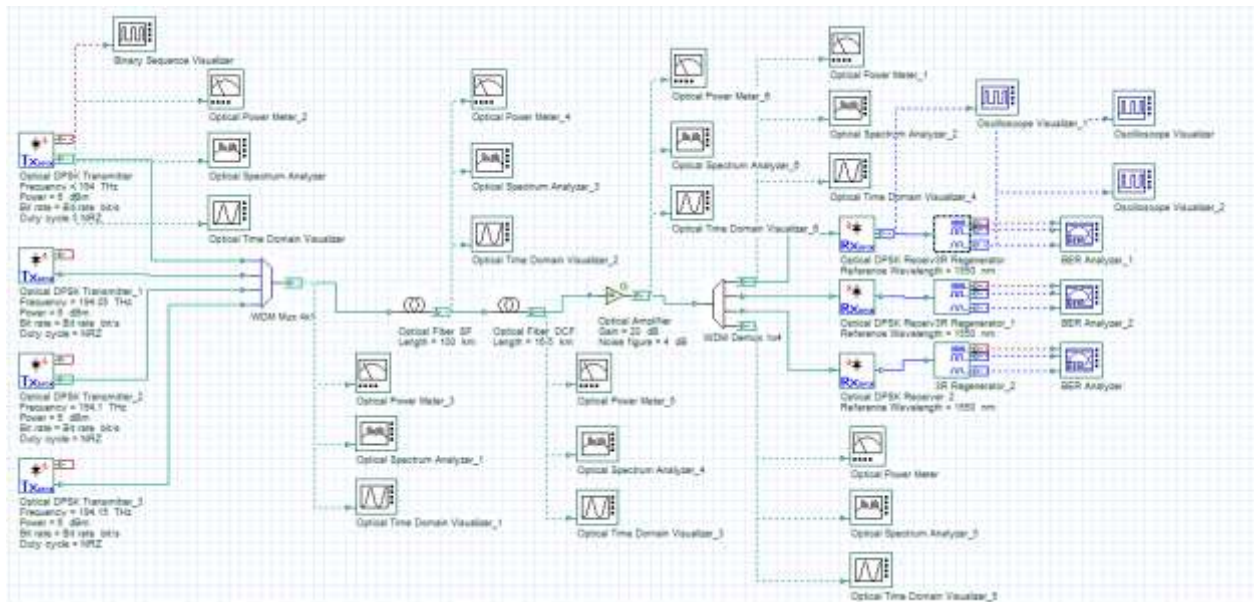


Рис. 2. Схема исследования 4-х канальной ВОСС с фазовой модуляцией

Повторите исследования по пункту 2 Исследования для ВОСС с бинарной фазовой модуляцией (ФМ).

В первом канале устанавливайте на передатчике поочередно уровни от $p_0=0$ до 26 дБм и проведите измерения уровней мощностей на входе в ОВ1 p_{mux} , на входе в ОВ2 p_{OV1} , на его выходе p_{OV2} , а также на выходе 1 канала Demux. При этом измеряем Q – фактор. Результаты измерений для кода NRZ поместите в таблицу 5. Зарегистрируйте типичные осциллограммы, спектрограммы и глаз диаграммы для малых и больших сигналов.

Таблица 5

p_0 , дБм	0					20	26
p_{mux} , дБм		-	-	-	-		
p_{OV1} , дБм		-	-	-	-		
p_{OV2} , дБм		-	-	-	-		
p_{Dmux} , дБм		-	-	-	-		
Q							
Коммент.							

Сделайте выводы по таблице 5 и по зарегистрированным осциллограммам и спектрограммам. Объясните характер изменений уровней мощностей от точки к точке при слабом и большом сигналах. Изучая зависимость $Q(p_0)$ определите области входных мощностей, при которых нелинейные явления не проявляются. При этом надо также анализировать изменения спектра на выходе телекоммуникационного и компенсирующего ОВ.

Проведите аналогичные исследования процессов распространения сигналов и зависимости качества связи при RZ-х кодировании от величины относительной длительности импульса x в процентах. Для кода NRZ возьмите данные из таблицы 5.

Таблица 6.

Код	p_0 , дБм	0				20	26
NRZ	p_{0B2} , дБм						
	Q						
	Коммент.						
RZ-66	p_{0B2} , дБм						
	Q						
	Коммент.						
RZ-50	p_{0B2} , дБм						
	Q						
	Коммент.						
RZ-33	p_{0B2} , дБм						
	Q						
	Коммент.						

Выберите из таблицы 3 наилучший тип кодирования.

2. Исследование четырехканальной ВОСС с фазовой модуляцией

Уровни мощности во всех каналах будем устанавливать одинаковыми в пределах от 0 до 26 дБм. Зарегистрируйте типичные осциллограммы, спектрограммы и глаз диаграммы для малых и больших сигналов при кодах NRZ и RZ с максимальной скважностью. Сравнивая результаты, полученные для одноканальной и четырехканальной ВОСС, попробуйте оценить вклад в изменения сигнала от ФСМ, ФКМ и ЧВС.

Таблица 7.

Код	p_0 , дБм	0				20	26
NRZ	p_{0B2} , дБм						
	Q_1						
	Q_2						
	Q_3						
	Коммент.						
RZ-80	p_{0B2} , дБм						
	Q_1						
	Q_2						
	Q_3						
	Коммент.						
RZ-60	p_{0B2} , дБм						
	Q_1						
	Q_2						
	Q_3						
	Коммент.						
RZ-40	p_{0B2} , дБм						
	Q_1						
	Q_2						
	Q_3						
	Коммент.						

Выберите из таблицы 4 наилучший тип кодирования для четырехканальной ВОСС.

Сравните качество связи для ВОСС с АМ и ФМ при одинаковых мощностях источников и типов кодирования.