

# Лабораторная работа №1 по дисциплине «Моделирование процессов распространения сигналов по оптическим волокнам». Исследование оптического передающего блока для волоконно-оптической системы связи.

Соберите схему исследования (рис. 1) в среде OptiSystem для этой и двух последующих лабораторных работ.

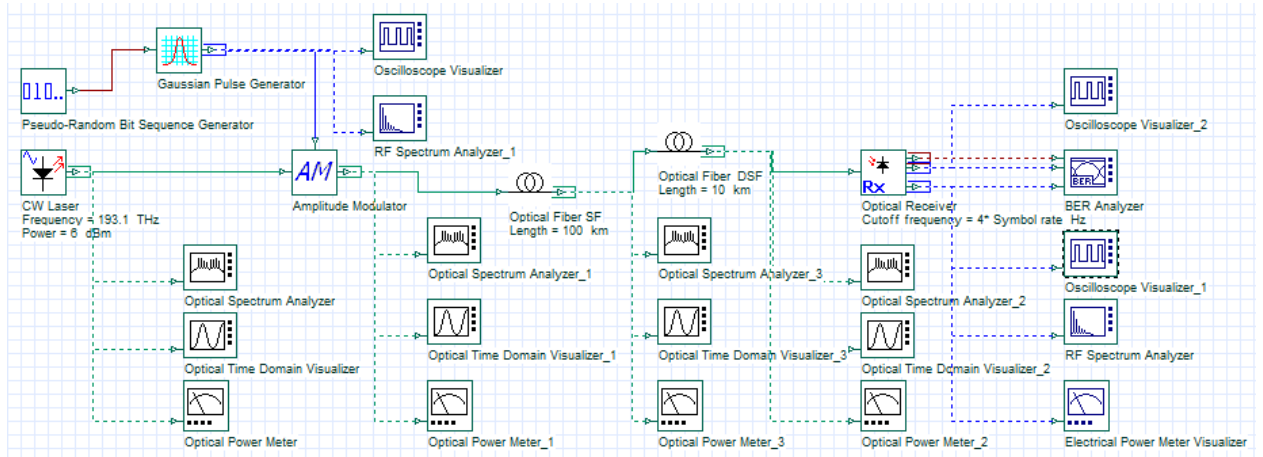


Рис. 1. Схема волоконно-оптической системы связи с амплитудной модуляцией

## Порядок выполнения работы

- Исследование немодулированного излучения одномодового лазера DBR (CW Laser) при двух установленных уровнях излучения  $p_0=0$  и 6 дБм.
  - Запустите программу. Познакомьтесь с установленными параметрами CW Laser: уровень мощности  $p_0$ , несущая частота  $\nu_0$ , длина волны  $\lambda_0$ , ширина спектра излучения  $\Delta\nu_0$  в ГГц. Для этого дважды щелкните левой кнопки «мыши» на изображении CW Laser. Откорректируйте параметры CW Laser в соответствии со своим вариантом (таблица 1).
  - Познакомьтесь с установленными глобальными параметрами исследуемой схемы ВОСС, которые относятся ко всей схеме. Для этого дважды щелкните левой кнопки мыши по полю схемы. Откорректируйте скорость передачи  $B$  (Гбит/с) в соответствии со своим вариантом. Обратите внимание на параметры источника передаваемой информации, который представляет собой генератор псевдо-случайной последовательности PSP (Pseudo Random Bit Sequence Generator). Определите, установленную длину (период) последовательности (Sequence length) и количество отсчетов на бит (Samples per bit). Занесите параметры PSP в таблицу 1.

Таблица 1. Исходные данные для установки общих параметров схемы ВОСС и CW Laser.

Вар.	Скорость передачи, $B$ , Гбит/с	Период PSP, бит	Кол-во отсчетов на бит	Длина волны, $\lambda_0$ нм	Несущая частота, $\nu_0$ ТГц	Ширина спектра, $\Delta\nu_0$ , МГц
1	1	128	64	1530		10
2	2.5	128	64	1540		20
3	10	128	64	1550		30
4	1	128	64	1560		5
5	10	128	64	1570		15

- Убедитесь по оптическому осциллографу, что излучение лазера непрерывно (Optical Time Domain Visualizer) и измерьте уровень его мощности  $p_0$  в дБм осциллографом и измерителем средней мощности (Optical Power Meter). Значения должны совпадать.

- Определите максимальную спектральную плотность  $S_{max}$  лазера в дБм и ширину его спектра излучения  $\Delta\nu_0$  в ГГц по оптическому спектроанализатору (Optical Spectrum Analyzer) на уровне -10, -20 и -30 дБ по отношению к максимальному уровню. Зарегистрируйте спектрограмму излучения лазера без модуляции при установленном разрешении в спектроанализаторе 0.001 нм. Установленные параметры и результаты измерений поместите в таблицу 2.

Таблица 2. Параметры CW Laser

$P_0$ , дБм		Устан. $\lambda_0$ , нм	Устан. $\nu_0$ , ГГц	Уст. $\Delta\nu_0$ , МГц	Измер. $\Delta\nu_0$ , ГГц на уровне, дБ			Измер. $S_{max}$ , дБм
Устан.	Измер.				-10	-20	-30	
0								
6								

- Приведите спектр излучения ЛД при разрешении анализатора спектра 0.001 нм. Установленная ширина спектра \_\_\_\_ МГц, уровень непрерывной мощности 6 дБм.
  - Объясните, почему ширина измеренного спектра ЛД отличается от установленной.
2. Исследование источника модулирующего сигнала.

- Познакомьтесь с установленными параметрами формирователя модулирующего сигнала (Gaussian Pulse Generator): пиковый уровень (Amplitude)  $U_m$  модулирующих гауссовских импульсов и начальное смещение (Bias)  $U_b$  в условных единицах, относительную длительность импульсов  $t_u$  в битах. Для этого дважды щелкните левой кнопки мыши на изображении Gaussian Pulse Generator.
- Поочередно устанавливайте параметры формирователя модулирующего сигнала одинаково для всех вариантов в соответствии с таблицей 3.
- Определите по осциллографу (Oscilloscope Visualizer) амплитуду электрических гауссовских импульсов  $U_m$  и начальное смещение  $U_b$  в условных единицах (у.е.), а также относительную ширину импульсов  $t_u$  в битах относительно тактового интервала (1 бит) на уровне половины амплитуды. Измеренные параметры источника модулирующего АМ сигнала поместите в таблицу 3. Сравните установленные и измеренные значения параметров источника. Сделайте выводы.

Таблица 3. Параметры источника модулирующего АМ сигнала

Ампл. модул. имп. $U_m$ , у.е.		Смещен. $U_b$ , у.е.		$t_u$ , бит	
Устан.	Измерен.	Устан.	Измерен.	Устан.	Измерен.
1		0		0.15	
1		0.1		0.15	
1		0.2		0.15	
1		0		0.25	
1		0.1		0.25	
1		0.2		0.25	

### 3. Исследование амплитудного модулятора АМ.

- Поочередно устанавливайте мощность лазера  $P_0$ , параметры формирователя модулирующего сигнала  $U_m$ ,  $U_b$ ,  $t_u$  и параметр амплитудного модулятора - модуляционный индекс (Modulation index)  $MI$  одинаково для всех вариантов в соответствии с таблицей 4.
- Наблюдайте на оптическом осциллографе форму оптических импульсов после АМ. Измерьте по осциллографу пиковую  $P_{mAM}$  мощность и мощность смещения  $P_{bAM}$  в мВт, относительную ширину импульсов  $t_{uAM}$  в битах, а также среднюю мощность  $P_{oAM}$  в мВт по ваттметру.

- Сравните мощности на выходе АМ  $P_{0AM}$  и на выходе лазера  $P_0$  и объясните результаты измерений.
- Определите по оптическому спектроанализатору максимальную спектральную плотность последовательности импульсов  $S_{max}$  на выходе АМ в дБм и ширину спектра излучения  $\Delta\nu_{AM}$  в ГГц на уровне -10, -20 и -30 дБ по отношению к максимальному уровню.
- Измеренные параметры оптических сигналов на входе и выходе АМ модулятора поместите в таблицу 4.
- Зарегистрируйте осциллограммы и спектрограммы излучения на выходе АМ (не менее четырех) при мощности ЛД  $P_0=4$  мВт (6 дБм) и установленном разрешении в спектроанализаторе 0.01 нм для различных длительностей импульса и разных уровнях смещения. Сравните форму спектрограмм на выходе АМ и выходе лазера. Объясните различия.
- Сравните установленные и измеренные значения параметров оптического сигнала на выходе АМ. Выявите нестыковки в установленных и измеренных значениях. Попытайтесь их объяснить.

Таблица 4. Параметры оптического сигнала на выходе АМ модулятора скорость передачи  $B=10$  Гбит/с

Установленные значения					Измеренные значения							
$P_0$ , мВт	$U_m$ , у.е.	$U_b$ , у.е.	$t_u$ , бит	$MI$	$P_{mAM}$ , мВт	$P_{bAM}$ , мВт	$P_{0AM}$ , мВт	$t_{uAM}$ , бит	$S_{max}$ , дБм	$\Delta\nu_{AM}$ , ГГц на уровне, дБ		
										-10	-20	-30
4	1	0	0.15	1								
4	1	0	0.25	1								
4	1	0.1	0.15	1								
4	1	0.2	0.15	1								
4	1	0	0.15	0.9								
4	1	0	0.15	0.8								
4	1	0.1	0.15	0.9								
4	1	0.1	0.15	0.8								

### Содержание отчета

1. Таблицы 2-4. Выводы.
2. Осциллограммы оптических сигналов на выходе АМ (не менее 4 по выбору студента).
3. Спектрограммы для оптических сигналов на выходе лазера (одна) и на выходе АМ (не менее 4 по выбору студента).

### Контрольные вопросы

1. Какие источники, используются для волоконно-оптических систем связи? Их краткая сравнительная характеристика.
2. Какие параметры характеризуют работу источника излучения? Перечислите и дайте определения.
3. Ваттамперные и вольтамперные характеристики источников излучения. Зависимость от температуры.
4. Спектр излучения источников.
5. Гауссовский импульс. Форма, длительность, спектр. Что происходит с гауссовским импульсом при его прохождении по одномодовому волокну.
6. Что такое псевдослучайная последовательность, почему она используется для тестирования волоконно-оптических систем связи?

7. Функции амплитудного модулятора. Связь между выходным излучением и модулирующим сигналом.
8. Как изменяется спектр источника излучения после амплитудного модулятора?
9. Связь между длительностью и шириной спектра гауссовского импульса.
10. Существуют ли реальные приборы оптический осциллограф и оптический анализатор спектра? Можно ли реально включать приборы так, как показано на схеме рис. 1?

### Схема исследования.

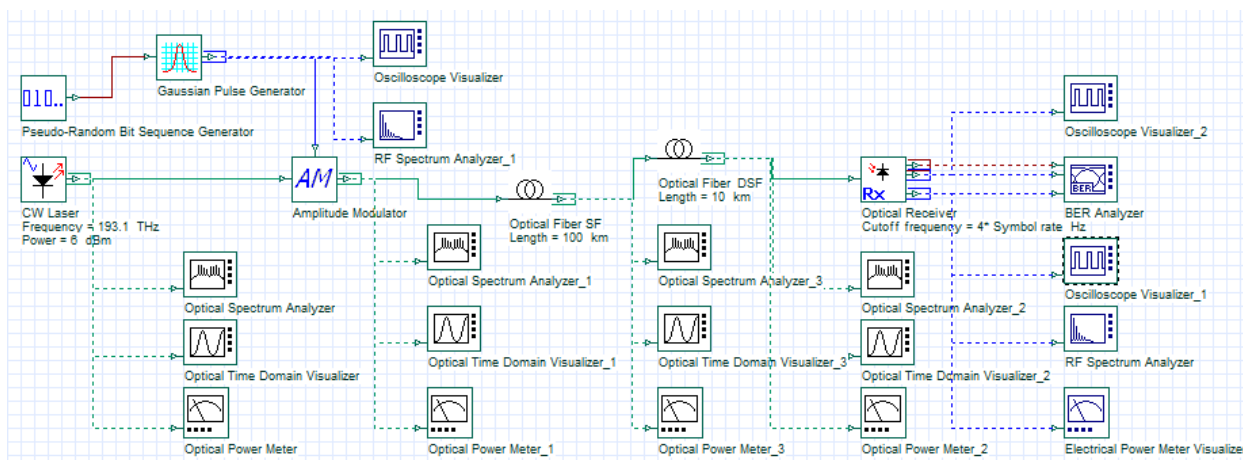


Рис. 1. Схема волоконно-оптической системы связи с амплитудной модуляцией

1. Исследование оптического приемника  $R_x$  (фотоприемного устройства – ФПУ). Он включает р-и-n фотодиод (ФД), усилитель фототока (УФТ) и регенератор ЗР. УФТ называют трансимпедансным, т.е. преобразователем фототока в напряжение, коэффициент передачи которого имеет размерность сопротивления (импеданса). Он характеризуется своим коэффициентом передачи и является фильтром нижних частот с определенной частотой среза (Cuttof frequency).

Для формирования строб импульсов, определяющих моменты принятия решения, в ФПУ восстанавливается тактовая частота принимаемого сигнала. Для уменьшения коэффициента ошибок в ФПУ автоматически выбирается оптимальный порог решения, который зависит от уровня принимаемого сигнала.

Качество связи определяется по глаз-диаграмме анализатором битовых ошибок (BER analyzer) и оценивается максимальным  $Q_{max}$  – фактором, который по существу является отношением сигнала к шуму и однозначно связан с коэффициентом ошибок. Причем при  $Q=6$  вероятность ошибки составляет  $10^{-9}$ , а при  $Q=7$  составляет  $10^{-12}$ .

- Проверьте и скорректируйте в соответствии со своим вариантом начальную установку общих параметров схемы ВОСС (см. таблицу 1 к лабораторной работе №1).
- Проверьте и скорректируйте в случае необходимости параметры ФПУ общие для всех вариантов: чувствительность (responsivity) p-i-n ФД  $S_\lambda = 0.7$  А/Вт, частоту наибольшей чувствительности  $\nu_0 = 193.1$  ТГц, темновой ток (Dark current)  $I_T = 10$  нА. Установите частоту среза ФПУ (cutoff frequency) для своего варианта  $f_s = 2$  В ТГц.
- Также установите общие для всех вариантов параметры генератора гауссовских импульсов: амплитуда  $U_m = 1$  у.е., смещение  $U_b = 0$  у.е. и параметры линейного тракта, состоящего из двух одномодовых оптических волокон (ОМ ОВ): стандартного ОВ (SF) длиной 100 км и компенсирующего ОВ (DCF) длиной 10 км.

- Проверьте и скорректируйте в случае необходимости параметры волокон в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1. Параметры оптических волокон

Тип ОВ	Длина волны $\lambda_0$ , нм	Коэффициент затухания $\alpha$ , дБ/км	Коэффициент ХД $D_X$ , пс/(нм км)	Наклон дисперсионной характеристики $S_X$ , пс/(нм <sup>2</sup> км)	Эффективная площадь $A_{ef}$ , мкм <sup>2</sup>	Нелин. показат. преломления $n_2$ , м <sup>2</sup> /Вт
SF	1550	0.2	16.75	0.075	80	$26 \cdot 10^{-21}$
DCF	1550	0.4	-167.5	-0.75	41	$26 \cdot 10^{-21}$

- Поочередно устанавливайте уровень мощности лазера  $p_0$  (дБм), относительную длительность импульса  $t_u$  (бит) и модуляционный индекс (Modulation index)  $MI$  одинаково для всех вариантов в соответствии с таблицей 2. Количество измерений в таблице 2 и последующих таблицах Вы можете сокращать, если уверены в закономерном повторении некоторых результатов. Количество измерений должно быть минимально и достаточно для того, чтобы можно было сделать выводы о влиянии на результаты измерений установленных параметров.

Таблица 2. Результаты исследования оптических сигналов на входе ФПУ

Установленные параметры			Измеренные оптические величины				
$p_0$ , дБм	$t_u$ , бит	$MI$	$P_{mF}$ , мВт	$P_{bF}$ , мВт	$P_{0F}$ , мВт	$t_{uF}$ , бит	$\Delta\nu_F$ , ГГц
6	0.15	1					
3	0.15	1					
0	0.15	1					
-3	0.15	1					
6	0.25	1					
6	0.15	0.9					
6	0.25	0.9					
6	0.15	0.8					

- Запустите программу и убедитесь с помощью приборов в том, что Вы установили правильные параметры.
- Измерьте параметры оптического сигнала на входе ФПУ: с помощью оптического осциллографа максимальную  $P_{mF}$  мощность, мощность смещения  $P_{bF}$  и длительность импульса на половине амплитуды  $t_{uF}$ , а также среднюю  $P_{0F}$  мощность с помощью оптического ваттметра. Измерьте ширину спектра  $\Delta\nu_F$  на уровне -30 дБ. Измеренные величины занесите в таблицу 2.
- Зарегистрируйте осциллограммы огибающих оптических импульсов (не менее трех) и спектрограммы сигналов на входе в ФПУ (не менее двух) для 2-х уровней  $p_{0F}$  и двух значений модуляционного индекса  $MI$ . Выбирайте осциллограммы и спектрограммы, которые, по Вашему мнению, позволят сделать выводы о количественном и качественном влиянии на сигналы входных оптических уровней, смещения и длительности импульсов.
- Для тех же установленных и показанных в таблице 2 данных измерьте параметры электрического сигнала на выходе ФПУ (на входе регенератора): амплитуду  $U_{mR}$  и смещение  $U_{bR}$  в у.е., средний уровень мощности электрического сигнала  $p_{0R}$  в дБм, а также относительную длительность одиночных импульсов  $t_{uR}$  в битах. Установленные и измеренные величины поместите в таблицу 3.
- Определите по анализатору ошибок (Ber Analyser) максимальную величину  $Q$  фактора, минимальный коэффициент ошибок  $Ber$ , оптимальную ширину глаз-диаграммы (Eye Height)  $\Delta_{eye}$  и оптимальный порог решения (Threshold)  $\Delta_{th}$ . Измеренные величины также поместите в таблицу 3.

- Зарегистрируйте осциллограммы электрических импульсов на входе и выходе регенератора (не менее двух с разными значениями  $MI$ ), а также соответствующие им глаз-диаграммы.

Таблица 3. Результаты исследования электрических сигналов на выходе ФПУ

Установленные параметры			Измеренные электрические величины							
$p_0$ , дБм	$t_u$ , бит	$MI$	$U_{mR}$ , у.е.	$U_{BR}$ , у.е.	$p_{0R}$ , дБм	$t_{uR}$ , бит	$Q_{max}$	$Ber_{min}$	$\Delta_{eye}$ , у.е.	$\Delta_{th}$ , у.е.
6	0.15	1								
3	0.15	1								
0	0.15	1								
-3	0.15	1								
6	0.25	1								
6	0.15	0.9								
6	0.25	0.9								
6	0.15	0.8								

- Сделайте выводы о количественном и качественном влиянии на электрические сигналы входных оптических уровней, смещения и длительности импульсов.
2. Исследование влияния полосы пропускания УФТ на качество связи при  $p_0=6$  дБм, Последовательно устанавливайте в параметрах приемника  $R_x$  частоту среза  $f_s$  равной  $0.5 B$ ,  $B$ ,  $2B$  и  $3B$  и измеряйте параметры электрического сигнала ФПУ, которые соответствуют таблице 3.

Таблица 4. Параметры электрического сигнала ФПУ при разных значениях частоты среза ФПУ

Установленные параметры				Измеренные электрические величины							
$f_s$ , ГГц	$p_0$ , дБм	$t_u$ , бит	$MI$	$U_{mR}$ , у.е.	$U_{BR}$ , у.е.	$p_{0R}$ , дБм	$t_{uR}$ , бит	$Q_{max}$	$Ber_{min}$	$\Delta_{eye}$ , у.е.	$\Delta_{th}$ , у.е.
$0.5 B$	6	0.15	1								
$B$	6	0.15	1								
$2 B$	6	0.15	1								
$3 B$	6	0.15	1								
$0.5 B$	6	0.25	1								
$B$	6	0.25	1								
$2 B$	6	0.25	1								
$3 B$	6	0.25	1								
$0.5 B$	6	0.15	0.9								
$B$	6	0.15	0.9								
$2 B$	6	0.15	0.9								
$3 B$	6	0.15	0.9								

- По результатам измерений, приведенных в таблице 4, определите оптимальную частоту среза для ФПУ в одноканальной ВОСС.
- Зарегистрируйте глаз диаграммы (не менее трех), иллюстрирующие влияние на качество связи частоты среза, длительности импульса и смещения.

### **Содержание отчета**

1. Таблицы 2-4. Выводы.
2. Осциллограммы оптических сигналов на входе ФПУ (не менее 4 по выбору студента).
3. Спектрограммы оптических сигналов на входе ФПУ (не менее 4 по выбору студента).
4. Осциллограммы электрических сигналов на выходе ФПУ (не менее 4 по выбору студента).
5. Глаз-диаграммы электрических сигналов на входе регенератора (не менее 4 по выбору студента).

### **Контрольные вопросы**

1. Какие типы фотоприемников используются в фотоприемных устройствах волоконно-оптических систем связи? Их краткая сравнительная характеристика.
2. Какие параметры характеризуют работу фотоприемника? Перечислите и дайте определения.
3. Чувствительность ФП, линейность, темновой ток, размерность, зависимость от частоты (длины волны) и температуры.
4. Вольтамперная характеристика р-і-п ФД, зависимость от мощности оптического излучения.
5. Схемы подключения р-і-п ФД к усилителю фототока и усилителю напряжения. Сравнение схем.
6. Принцип регенерации цифровых сигналов. Как формируется глаз диаграмма. Ее параметры. Выбор порога решения.
7. Схема регенератора, восстановление тактовой частоты, выбор момента принятия решения.
8. Форма сигналов на входе и выходе регенератора.
9. Качество связи. Коэффициент ошибок,  $Q$ -фактор, их связь между собой.



# Лабораторная работа №3 по дисциплине «Оптоэлектроника».

## Исследование линейного тракта волоконно-оптической системы связи.

Схема исследования.

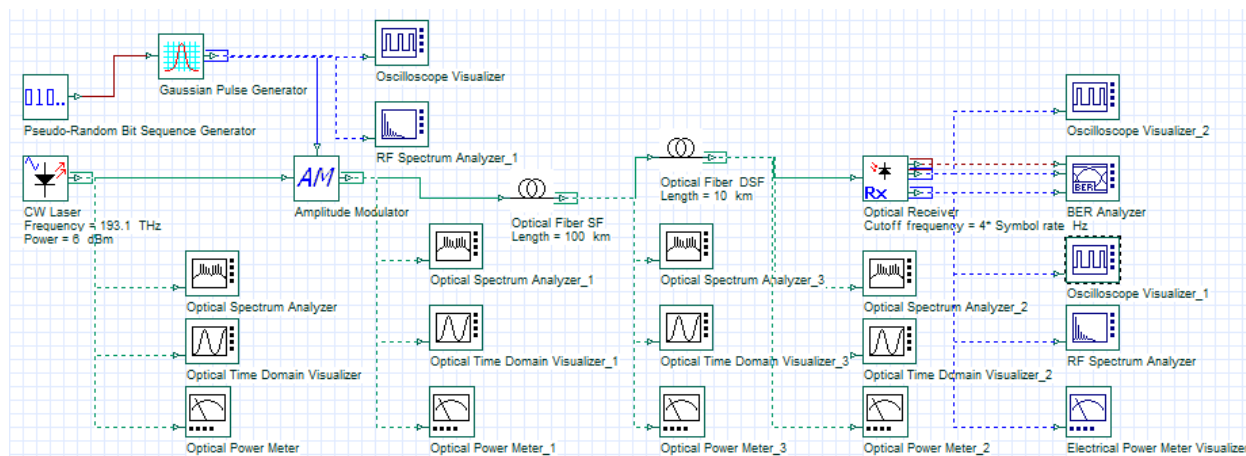


Рис. 1. Схема волоконно-оптической системы связи с амплитудной модуляцией

### Порядок выполнения работы

- Исследование линейного волоконно-оптического тракта одноканальной ВОСС. Он включает телекоммуникационное одномодовое стандартное оптическое волокно (SF) и оптическое волокно (DCF), компенсирующее хроматическую дисперсию.
  - Проверьте начальную установку параметров ОМОВ SF и ОВ DCF, которая должна соответствовать таблице 1.

Таблица 1. Параметры оптических волокон

Тип ОВ	Длина волны $\lambda_0$ , нм	Коэффициент затухания $\alpha$ , дБ/км	Коэффициент ХД $D_X$ , пс/(нм км)	Наклон дисперсионной характеристики $S_X$ , пс/(нм <sup>2</sup> км)	Эффективная площадь $A_{ef}$ , мкм <sup>2</sup>	Нелин. показат. преломления $n_2$ , м <sup>2</sup> /Вт
SF	1550	0.2	16.75	0.075	80	$26 \cdot 10^{-21}$
DCF	1550	0.4	-167.5	-0.75	41	$26 \cdot 10^{-21}$

- Проверьте и скорректируйте в соответствии со своим вариантом начальную установку общих параметров схемы ВОСС (см. таблицу 1 к лабораторной работе №1).
- Проверьте и скорректируйте в случае необходимости параметры ФПУ общие для всех вариантов: чувствительность (responsivite) p-i-n ФД  $S_\lambda = 0.7$  А/Вт, частоту наибольшей чувствительности  $\nu_0 = 193.1$  ТГц, темновой ток (Dark current)  $I_T = 10$  нА. Установите частоту среза ФПУ (cutoff frequency) для своего варианта  $f_s = 2$  В ГГц.
- Также установите общие для всех вариантов параметры генератора гауссовских импульсов: амплитуда  $U_m = 1$  у.е., смещение  $U_b = 0$  у.е. и относительную длительность импульса  $t_u = 0.15$  бит. Учтите, что по результатам лабораторной работы №1, реальная длительность импульса  $t_{uAM}$  на выходе АМ больше установленной (см. таблицу 3 в лабораторной работе №1). Установите модуляционный индекс  $MI = 1$  и длины волокон: стандартного ОВ (SF) 100 км и компенсирующего ОВ (DCF) 10 км.
- Запустите программу и убедитесь, что форма и спектр сигнал на выходе амплитудного модулятора соответствуют Вашим представлениям, а анализатор ошибок показывает высокое качество связи ( $Q > 7$ ).

[illegible]

- Проанализируйте результаты измерений и расчетов для двух ОВ, сделайте письменные выводы, которые подкрепите осциллограммами и спектрограммами (4-5 графиков).
4. Исследование эффективности компенсации хроматической дисперсии в линейном тракте для двух длин ОВ SF  $l_1=50$  и  $100$  км. Для каждой из этих длин выберите оптимальную длину ОВ DCF  $l_{2opt}$  из таблицы 2. Проведите измерения параметров сигнала на выходах ОВ SF и ОВ DCF при  $l_2 = l_{2opt}$ ,  $0.95 l_{2opt}$  и  $1.05 l_{2opt}$ . Результаты измерений и расчетов поместите в таблицы 5 и 6, соответственно.

Таблица 5. Результаты измерений.

$l_1$ , км	$l_2$ , км	$p_{011}$ , дБм	$p_{012}$ , дБм	$p_{m11}$ , дБм	$p_{m12}$ , дБм	$t_{u1}$ , бит	$t_{u2}$ , бит	$Q_{max}$
0	0							
50								
100								

Таблица 6. Результаты расчетов.

$l_1$ , км	$l_2$ , км	$a_1$ , дБ	$a_2$ , дБ	$\alpha_1$ , дБ/км	$\alpha_2$ , дБ/км	$t_{u1}/t_{u0}$	$t_{u2}/t_{u1}$
0	0						
50							
100							

- Проанализируйте результаты измерений и расчетов для двух длин ОВ SF, сделайте письменные выводы, которые подкрепите осциллограммами, спектрограммами и глаз диаграммами (5-6 графиков).

### Содержание отчета

1. Таблицы 2-6. Выводы.
2. Осциллограммы оптических сигналов на входе и выходе ОВ SF и ОВ DCF (не менее 6 по выбору студента).
3. Спектрограммы оптических сигналов на входе и выходе ОВ SF и ОВ DCF (не менее 2 по выбору студента).
4. Глаз диаграммы (не менее 4 по выбору студента).

### Контрольные вопросы

1. Коэффициент затухания и хроматической дисперсии ОМ стандартного ОВ (SF) на длинах волн 1310 нм и 1550 нм. Их единицы измерения.
2. Причины затухания в ОМ ОВ.
3. Материальная и волноводная дисперсии.
4. Расчет расширения импульса в ОМ ОВ (SF).
5. Можно ли определять пиковую мощность импульса на выходе ОМ ОВ SF через коэффициент затухания? Почему?

6. Коэффициент затухания и хроматической дисперсии OM OV (DCF) для компенсации дисперсии на длине волны 1550 нм.
7. Принцип компенсации хроматической дисперсии в стандартном OM OV.
8. Расчет требуемой длины компенсирующего OV DCF.
9. Будет ли компенсироваться хроматическая дисперсия, если поменять местами OV SF и DCF? Почему?

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Кафедра Фотоники и линий связи

Комплект материалов к лабораторным работам  
на базе программы

**«GAINMASTER™ Моделирование процессов в  
оптическом усилителе EDFA»**

Разработка доцентов Глаголева С.Ф. и Былиной М.С.

Санкт-Петербург  
2018 год

## ОПИСАНИЕ МОДЕЛИРУЕМОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В программе GAINMASTER™ для создания виртуальных лабораторных работ используются модели следующих компонентов:

- Набор источников излучения сигнала следующих типов:  
Монохроматический источник  $1\lambda$  - *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 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*);
- Атенуатор (*Attenuator*);
- Несимметричный ответвитель 1x2 (*Tap*);
- Симметричный разветвитель 2x2 (*Splitter*);
- Неразъемное соединение (*Splise*);
- Разъемное соединение (*Connector*);
- Циркулятор (*Circ*).

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.

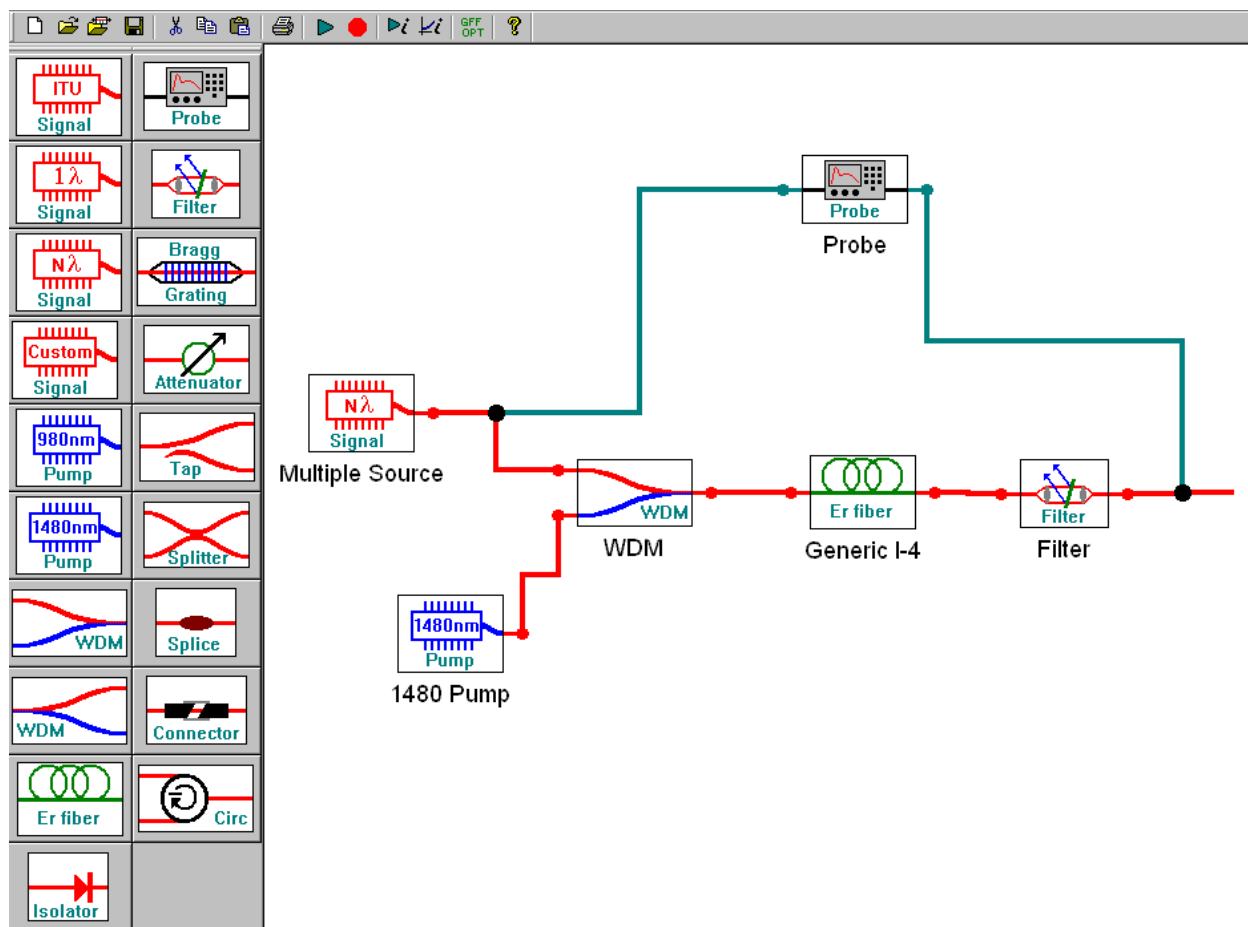


Рис. 1. Внешний вид экрана виртуальной лабораторной работы с оптической схемой эрбиевого усилителя с попутной накачкой

# 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. Исследование ОВ, легированных эрбием

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

Таблица 1.1.

№ вар	Тип ОВ	Длина ОВ при длине волны накачки	
		980 нм	1480 нм
1	I-4	18	35
2	I-6	15	28
3	I-25	3.5	5.5
4	M-5	15	45
5	M-12	7	11
6	I-4	16	32
7	I-6	14	26
8	I-25	4	6
9	M-5	14	40
10	M-12	7.5	12
11	I-4	20	38
12	I-6	16	30
13	I-25	3.0	5
14	M-5	16	40
15	M-12	8	12

- 1.2. Соберите сразу 2 схемы (рис. 1.1) с источниками  $N\lambda$  и  $1\lambda$  для исследования затухания эрбиевого ОВ в диапазоне длин волн 1520-1560 нм. При сборке схем не забудьте к выходу исследуемого ОВ подключить 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 ( $1\lambda$  *signal*) установите длину волны 1540 нм.



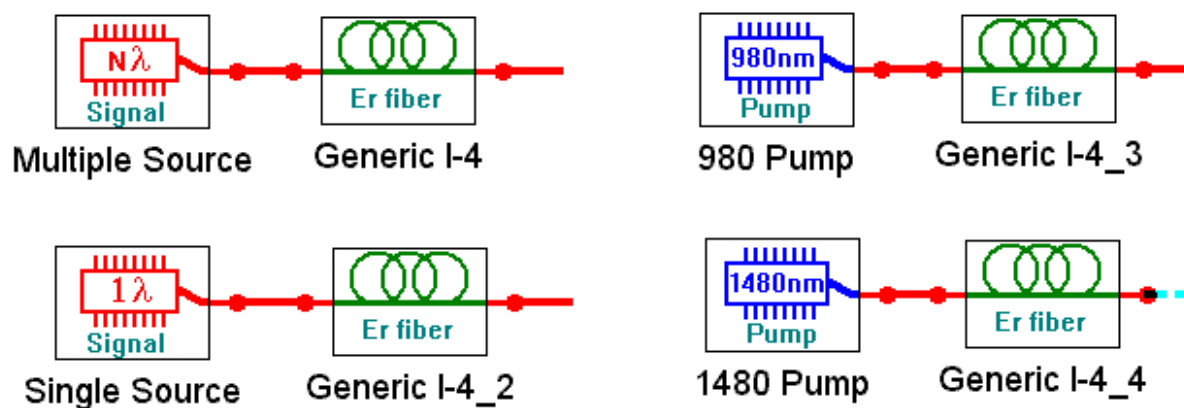


Рис. 1.1. Схемы подключения источников излучения к эрбиевому ОВ.

- 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 таблицу 1.2а.

Таблица 1.2

Тип ОВ _____				Длина ОВ _____ м		
Схема $N\lambda$						
$\lambda$ , нм	$P_0$ , мВт	$p_0$ , дБм	$P_l$ , мВт	$p_l$ , дБм	$a$ , дБ	$\alpha$ , дБ/м
1520						
1524						
1560						
1520-1560 нм	$P_{0\Sigma}$ , мВт	$p_{0\Sigma}$ , дБм	$P_{l\Sigma}$ , мВт	$p_{l\Sigma}$ , дБм	$a_\Sigma$ , дБ	$\alpha_\Sigma$ , дБ/м
Схема $1\lambda$						
$\lambda$ , нм	$P_0$ , мВт	$p_0$ , дБм	$P_l$ , мВт	$p_l$ , дБм	$a$ , дБ	$\alpha$ , дБ/м
1540						

Запишите также 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. 1.1) с источниками излучения 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 таблицы 1.3а для  $\lambda=980$  и 1.3б для  $\lambda=1480$  нм.

Таблица 1.3.

$\lambda=$ 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								
$\alpha$ , 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. Три таблицы по форме 1.2. 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. Две таблицы по форме 1.3. Графики зависимостей коэффициента затухания от уровня накачки на входе ОВ для двух длин волн накачки. Выводы по графикам.
4. 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. Всего 8 графиков. Выводы по графикам.
5. Выводы по результатам проверки выполнения закона сохранения энергии 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 в обработке и анализе полученных результатов.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 2.1. Получите у преподавателя номер варианта. По таблице 1.1 выберите конкретное ОВ и его первоначальные длины для двух длин волн накачки.
- 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 и длину волны накачки согласно таблице 1.1. Установите уровень мощности накачки 20 дБм.

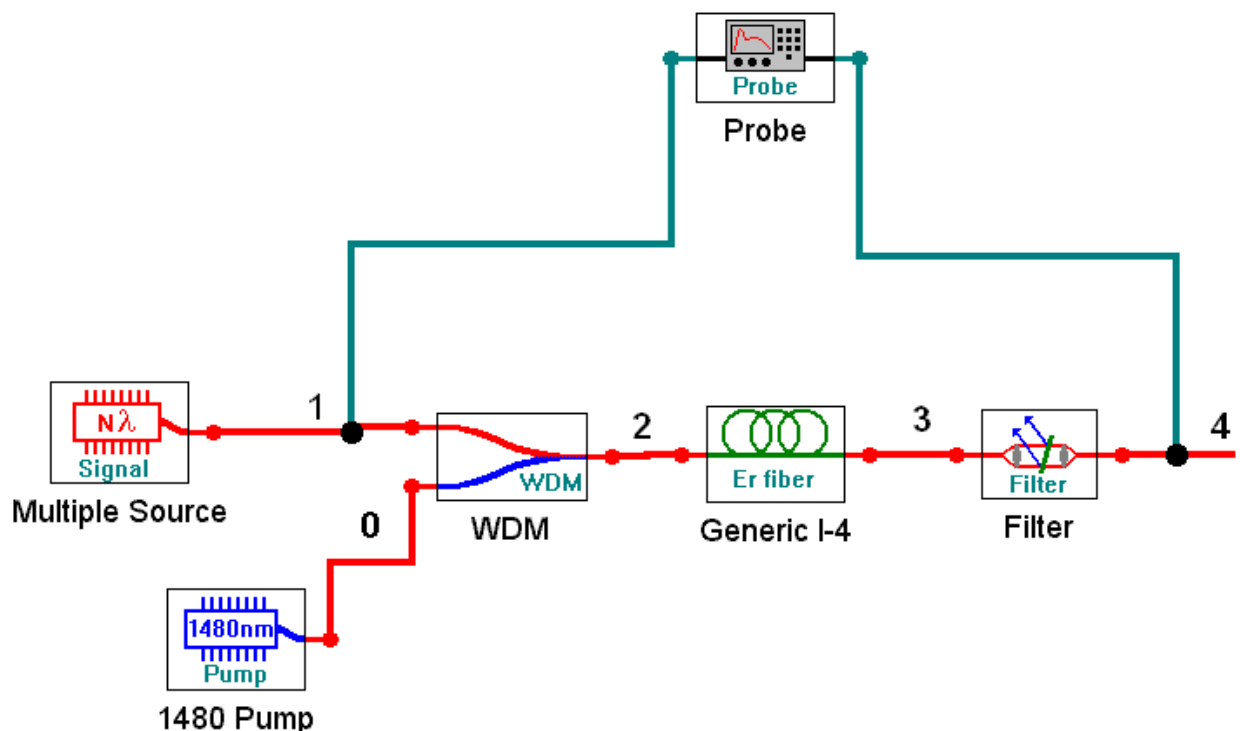


Рис. 2.1. Упрощенная схема ОУ на ОВ, легированном эрбием с попутной накачкой

- 2.3. Запустите процесс измерения кнопкой ►. Результаты измерений параметров оптического излучения занесите в таблицу 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.

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

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 таблицу 2.2.

Таблица 2.2.

$p_{p0} = \text{---} \text{дБм}$ (точка 0)			$l_{OB} = \text{---} \text{м}$			$\lambda_p = \text{---} \text{нм}$	
Точка 1	4	3	-	1-4	1-4	2	4
$p_{s0}, \text{дБм}$	$p_{sb}, \text{дБм}$	$p_{pl}, \text{дБм}$	$a_p, \text{дБ}$	$G_s, \text{дБ}$	$F_N, \text{дБ}$	$p_{ASEback}, \text{дБм}$	$p_{ASEforw}, \text{дБм}$
-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 таблицу 2.3.

Таблица 2.3.

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

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

Таблица 2.4.

$p_{s0} = \text{---} \text{ дБм (точка 1)}$			$\lambda_p = \text{---} \text{ нм}$			$p_{p0} = \text{---} \text{ дБм}$	
Точка 0	4	3	-	1-4	1-4	2	4
$l_{OB}, \text{ м}$	$p_{sb}, \text{ дБм}$	$p_{pl}, \text{ дБм}$	$a_p, \text{ дБ}$	$G_s, \text{ дБ}$	$F_N, \text{ дБ}$	$p_{ASEback}, \text{ дБм}$	$p_{ASEforw}, \text{ дБм}$
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 ОВ (таблица 1.1).  
Повторите измерения по пунктам 2.3 – 2.7. Результаты измерений поместите в таблицы аналогичные таблицам 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. Проверьте выполнение 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 с 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 в, обработке и анализе полученных результатов.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Получите у преподавателя номер варианта. По таблице 1.1 выберите конкретное ОВ и его первоначальные длины для двух длин волн накачки.

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 и длину волны накачки согласно таблице 1.1. Установите уровень мощности накачки 20 дБм.

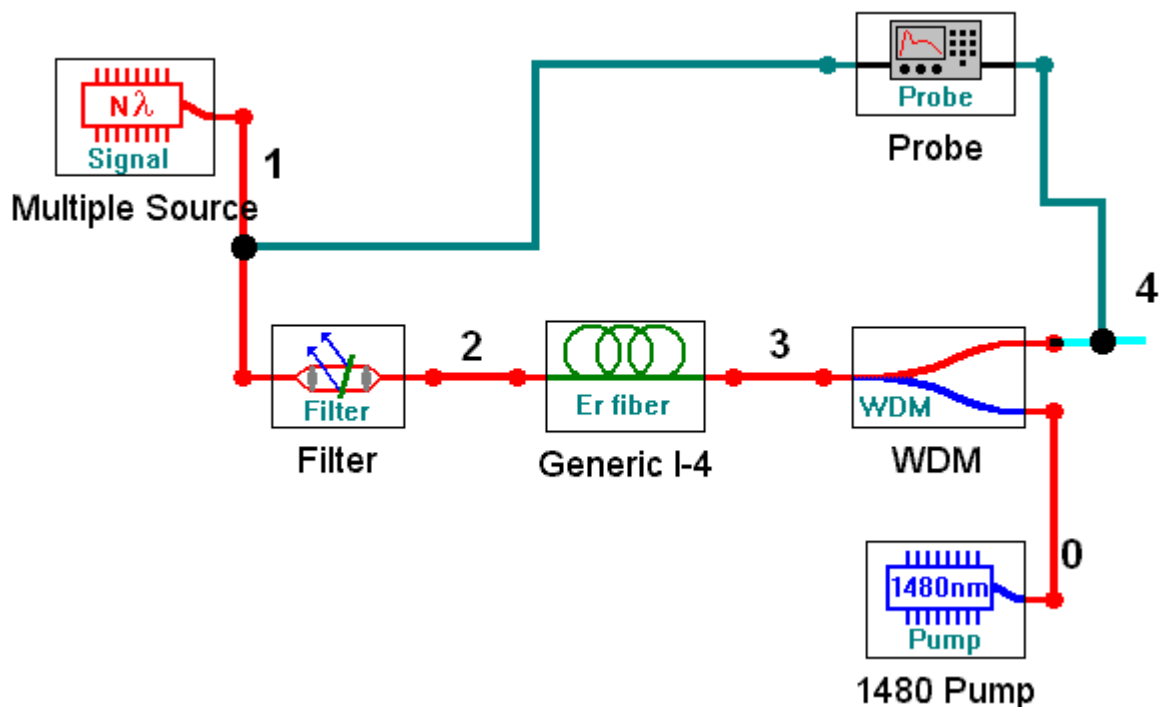


Рис. 3.1. Упрощенная схема ОУ на ОВ, легированном эрбием с встречной накачкой

- 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 таблицу 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.

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

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 таблицу 3.2.

Таблица 3.2.

$p_{p0} = \text{___} \text{ дБм}$ (точка 0)			$l_{OB} = \text{___} \text{ м}$			$\lambda_p = \text{___} \text{ нм}$	
Точка 1	4	2	-	1-4	1-4	2	4
$p_{s0}, \text{ дБм}$	$p_{sb}, \text{ дБм}$	$p_{pl}, \text{ дБм}$	$a_p, \text{ дБ}$	$G_s, \text{ дБ}$	$F_N, \text{ дБ}$	$p_{ASEback}, \text{ дБм}$	$p_{ASEforw}, \text{ дБм}$
-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 таблицу 3.3.

Таблица 3.3.

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

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

Таблица 3.4.

$p_{s0} = \text{---} \text{ дБм (точка 1)}$			$\lambda_p = \text{---} \text{ нм}$			$p_{p0} = \text{---} \text{ дБм}$	
Точка	4	2	0-2	1-4	1-4	2	4
$l_{OB}, \text{ м}$	$p_{sb}, \text{ дБм}$	$p_{pl}, \text{ дБм}$	$a_p, \text{ дБ}$	$G_s, \text{ дБ}$	$F_N, \text{ дБ}$	$p_{ASEback}, \text{ дБм}$	$p_{ASEforw}, \text{ дБм}$
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 ОВ (таблица 1.1).  
Повторите измерения по пунктам 3.3 – 3.6. Результаты измерений поместите в таблицы аналогичные таблицам 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,  
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?
- 6.

## 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 в обработке и анализе полученных результатов.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 4.1. Получите у преподавателя номер варианта. По таблице 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 таблице 1. Установите уровни мощности накачки 20 дБм на длине волны 1480 нм.

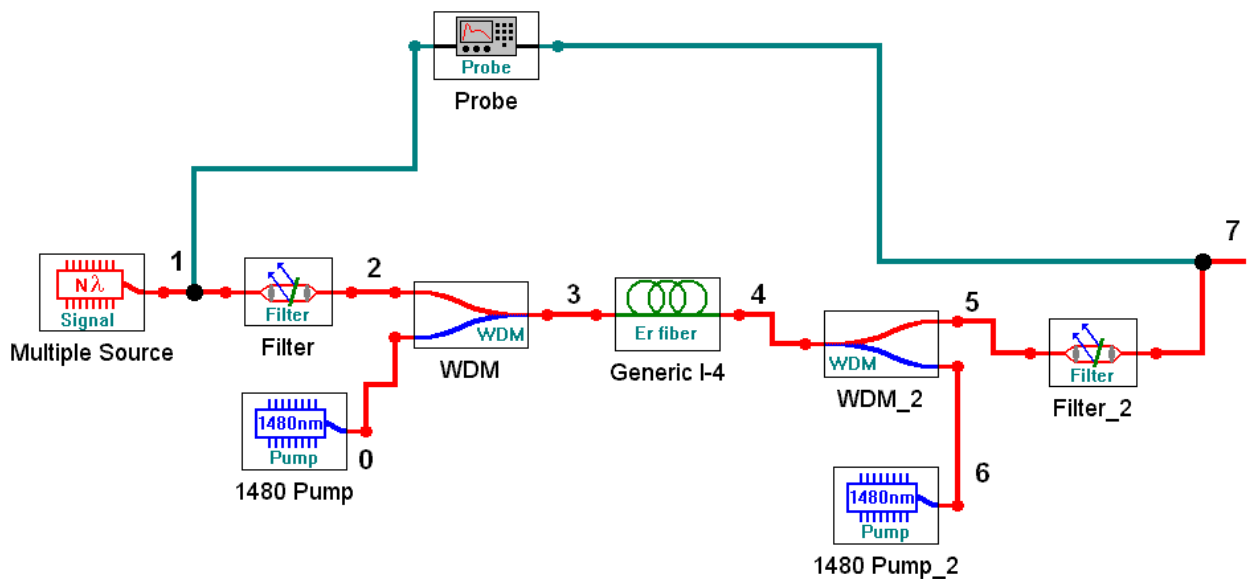


Рис. 4.1. Упрощенная схема ОУ на ОВ, легированном эрбием с двунаправленной накачкой

- 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 таблицу 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.

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

- 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 таблицу 4.2.

Таблица 4.2.

$p_{p0} = \text{---} \text{ дБм (точка 0)}$			$l_{OB} = \text{---} \text{ м}$			$\lambda_p = \text{---} \text{ нм}$	
Точка 1	4	2	-	1-4	1-4	2	4
$p_{s0}, \text{ дБм}$	$p_{sl}, \text{ дБм}$	$p_{pl}, \text{ дБм}$	$a_p, \text{ дБ}$	$G_s, \text{ дБ}$	$F_N, \text{ дБ}$	$p_{ASEback}, \text{ дБм}$	$p_{ASEforw}, \text{ дБм}$
-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 таблицу 4.3.

Таблица 4.3.

$p_{s0} = \text{---} \text{дБм (точка 1)}$			$\lambda_p = \text{---} \text{нм}$			$l_{OB} = \text{---} \text{м}$	
Точка 0	4	2	0-2	1-4	1-4	2	4
$p_{p0}, \text{дБм}$	$p_{sb}, \text{дБм}$	$p_{pl}, \text{дБм}$	$a_p, \text{дБ}$	$G_s, \text{дБ}$	$F_N, \text{дБ}$	$p_{ASEback}, \text{дБм}$	$p_{ASEforw}, \text{дБм}$
-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 таблицу 4.4.

Таблица 4.4.

$p_{s0} = \text{---} \text{дБм (точка 1)}$			$\lambda_p = \text{---} \text{нм}$			$p_{p0} = \text{---} \text{дБм}$	
Точка	4	2	0-2	1-4	1-4	2	4
$l_{OB}, \text{м}$	$p_{sb}, \text{дБм}$	$p_{pl}, \text{дБм}$	$a_p, \text{дБ}$	$G_s, \text{дБ}$	$F_N, \text{дБ}$	$p_{ASEback}, \text{дБм}$	$p_{ASEforw}, \text{дБм}$
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 (таблица 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 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,  
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. Проверьте выполнение 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?