

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
2015 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 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 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.

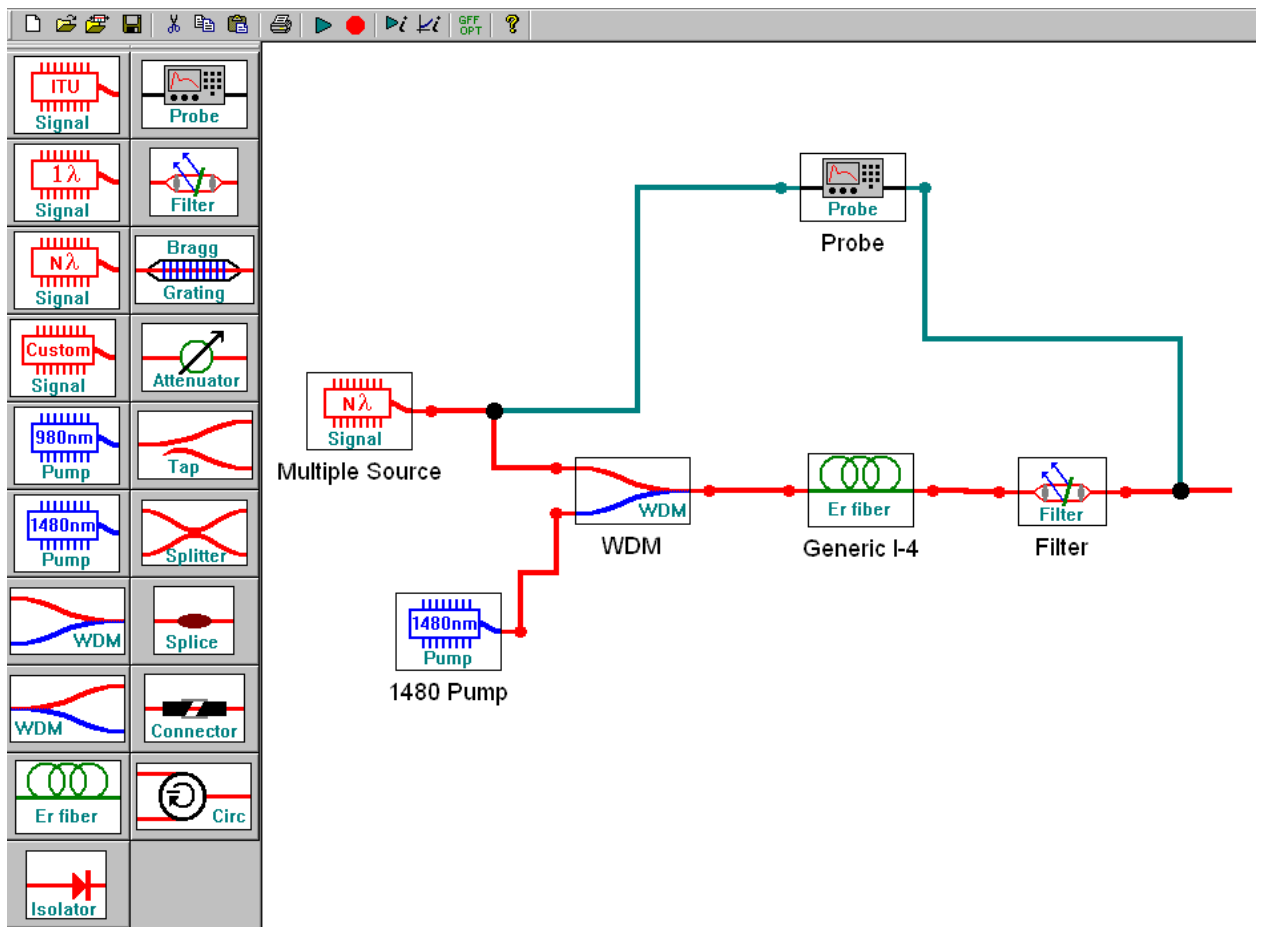


Рис. 1. Внешний вид экрана виртуальной лабораторной работы с оптической схемой эрбиевого усилителя с попутной накачкой

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.

№ 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. 1.1) 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 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.

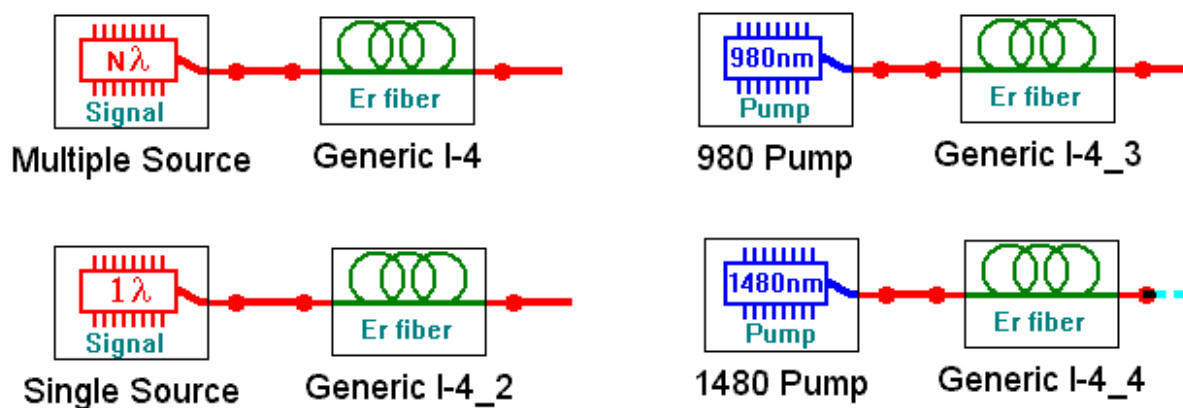


Рис. 1.1. Схемы подключения источников излучения к эрбиевому ОВ.

- 1.4. Запустите процесс измерения кнопкой ►. Для определения параметров оптического излучения в выбранной точке схемы необходимо дважды нажать левую клавиши «мыши» на этой точке. Результаты измерений параметров оптического излучения занесите в таблицу 1.2а.

Таблица 1.2

Тип ОВ				Длина ОВ		
—				м		
Схема $N\lambda$						
λ , нм	P_o , мВт	p_o , дБм	P_l , мВт	p_l , дБм	a , дБ	α , дБ/м
1520						
1524						
1560						
1520-1560 нм	$P_{o\Sigma}$, мВт	$p_{o\Sigma}$, дБм	$P_{l\Sigma}$, мВт	$p_{l\Sigma}$, дБм	a_Σ , дБ	α_Σ , дБ/м
Схема 1λ						
λ , нм	P_o , мВт	p_o , дБм	P_l , мВт	p_l , дБм	a , дБ	α , дБ/м
1540						

Запишите также суммарные мощности и уровни на входе $P_{o\Sigma}$ 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									
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. 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.
- 5.

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 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 таблице 1. Установите уровень мощности накачки 20 дБм на длине волны 1480 нм.

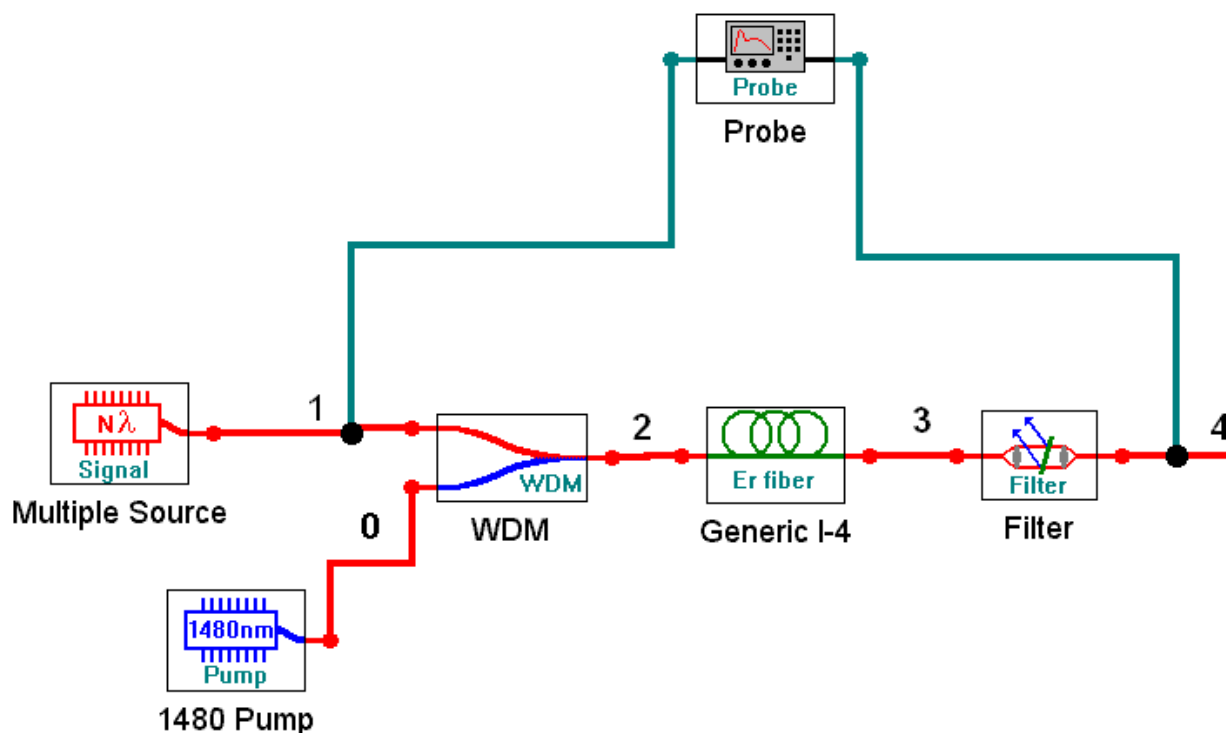


Рис. 2.1. Упрощенная схема ОУ на ОВ, легированном эрбием с попутной накачкой

- 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
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 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} , дБм	p_{sb} , 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 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 λ 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?
- 6.

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 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 таблице 1. Установите уровень мощности накачки 20 дБм на длине волны 1480 нм.

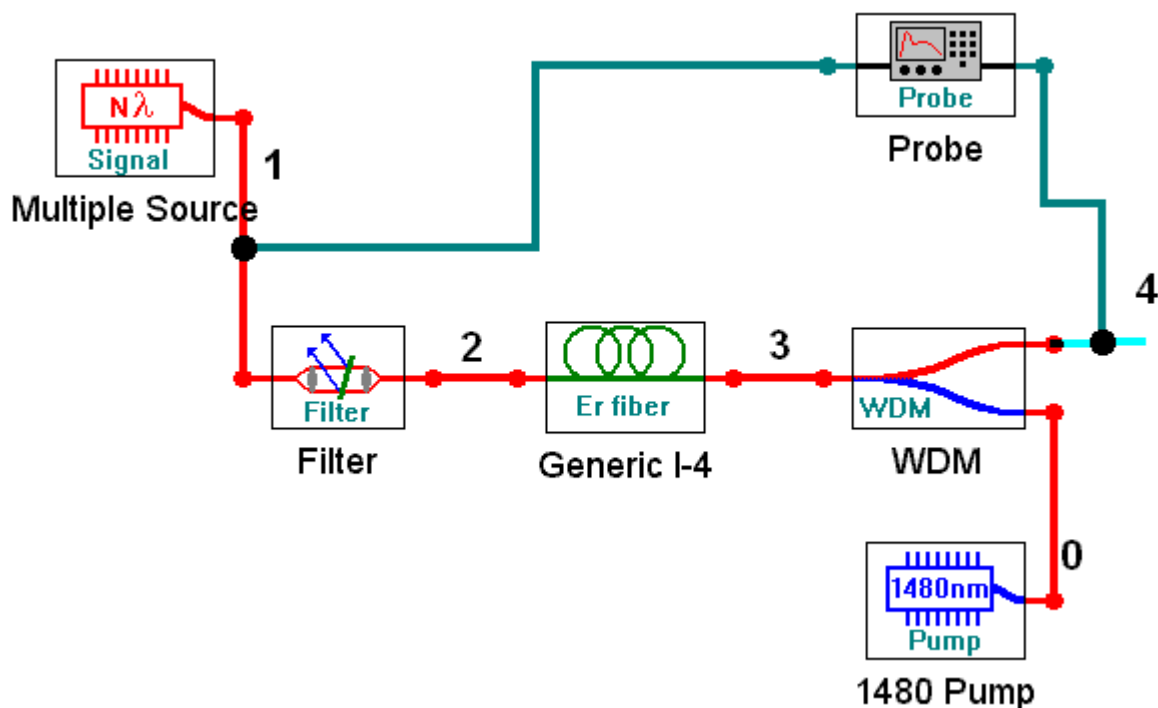


Рис. 3.1. Упрощенная схема ОУ на ОВ, легированном эрбием с встречной накачкой

- 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
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	$p_{sl\Sigma}$, 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.

- 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} , дБм	p_{sb} , 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 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 λ 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.

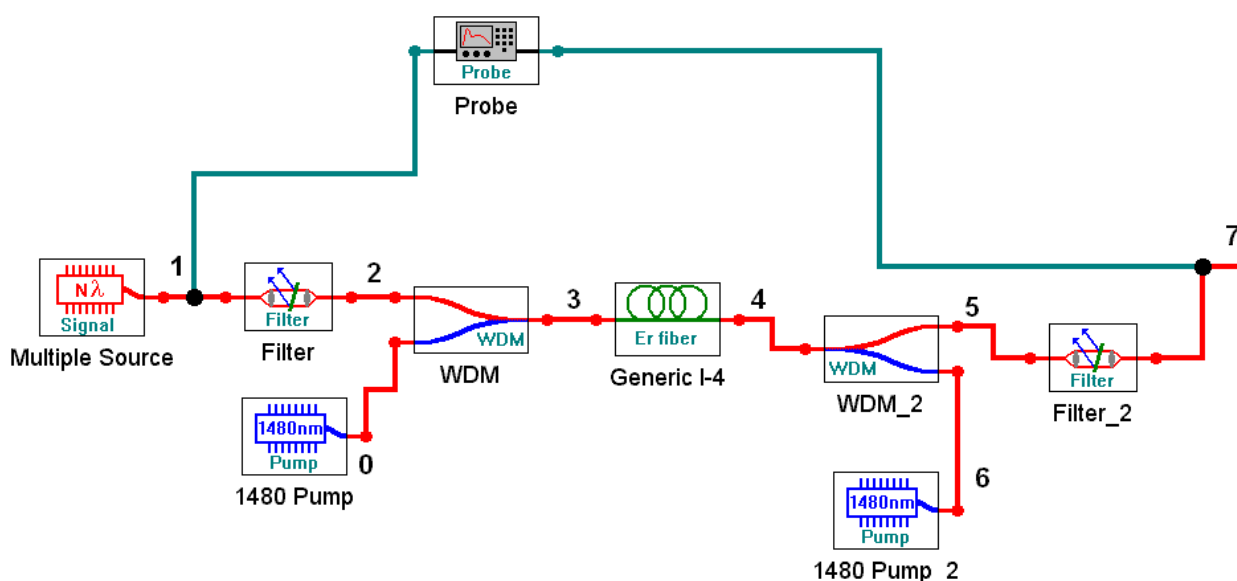


Рис. 4.1. Упрощенная схема ОУ на ОВ, легированном эрбием с двунаправленной накачкой

- 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 $1\lambda \text{ signal}$. 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
$p_{s0}, \text{ дБм}$	$p_{sb}, \text{ дБм}$	$p_{pl}, \text{ дБм}$	$a_p, \text{ дБ}$	$G_s, \text{ дБ}$	$F_N, \text{ дБ}$	$p_{ASEback}, \text{ дБм}$	$p_{ASEforw}, \text{ дБм}$
-30							
-20							
-10							
-5							
0							
5							

- 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 λ 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?