

Тема 6

Активные компоненты волоконно-
оптических систем передачи

Содержание темы

- Усилители оптических сигналов.
- Усилители на волокнах, легированных эрбием и принцип их работы.
- Критические рабочие параметры EDFA усилителей.
- Регенераторы, применяемые в ВОСП, их достоинства и недостатки.
- Оптоэлектронный регенератор.
- Методы мультиплексирования потока данных.

Содержание темы

- Методы оптического разделения каналов.
- Основы технологии WDM.
- Оптические мультиплексоры/демультиплексоры и их характеристики.

Активные компоненты ВОСП

К основным активным компонентам ВОСП относятся:

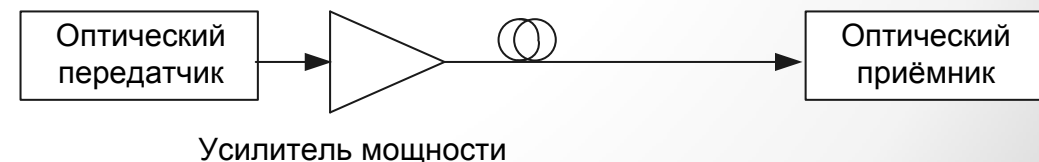
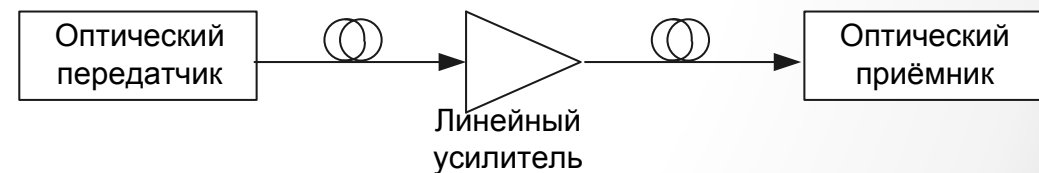
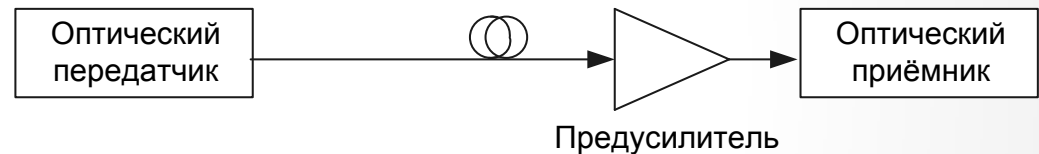
- регенераторы;
- усилители;
- мультиплексоры/демультиплексоры.

Усилители оптических сигналов

Оптические усилители – устройства, обеспечивающие увеличение мощности оптического излучения за счёт энергии внешнего источника.

Оптические усилители по месту использования:

- предварительные усилители (предусилители);
- линейные усилители;
- усилители мощности (бустеры).



Усилители оптических сигналов

Параметр	Предусилитель	Линейный усилитель	Усилитель мощности
Коэффициент усиления G	высокий	средний	низкий
Коэффициент шума	низкий	средний	низкий
Мощность насыщения	низкая	средняя	высокая
Нелинейность	низкая	низкая	низкая
Зона усиления	узкая	широкая	широкая
Отклонение от плато ΔG	не указывается	высокая линейность	высокая линейность

Усилители оптических сигналов

Оптические усилители по конструкции:

- **полупроводниковые** – усиление сигнала происходит за счет использования стимулированной электрическим током эмиссии фотонов, которая возникает в результате взаимодействия фотонов передаваемого сигнала и излучаемой рекомбинации носителей заряда в полупроводнике;
- **волоконно-оптические** – в которых усиление сигнала происходит за счет накачки специализированного активного волокна, легированного примесями редкоземельных элементов, относящихся к группе лантанидов;
- **нелинейные волоконно-оптические** – в которых усиление сигнала происходит за счет различных нелинейных эффектов (эффекта рассеяния).

Усилители оптических сигналов

Полупроводниковые усилители.

Основу полупроводникового усилителя составляет активная среда, аналогичная той, которая используется в полупроводниковых лазерах.

В ППУ отсутствуют зеркальные резонаторы, характерные для полупроводниковых лазеров.

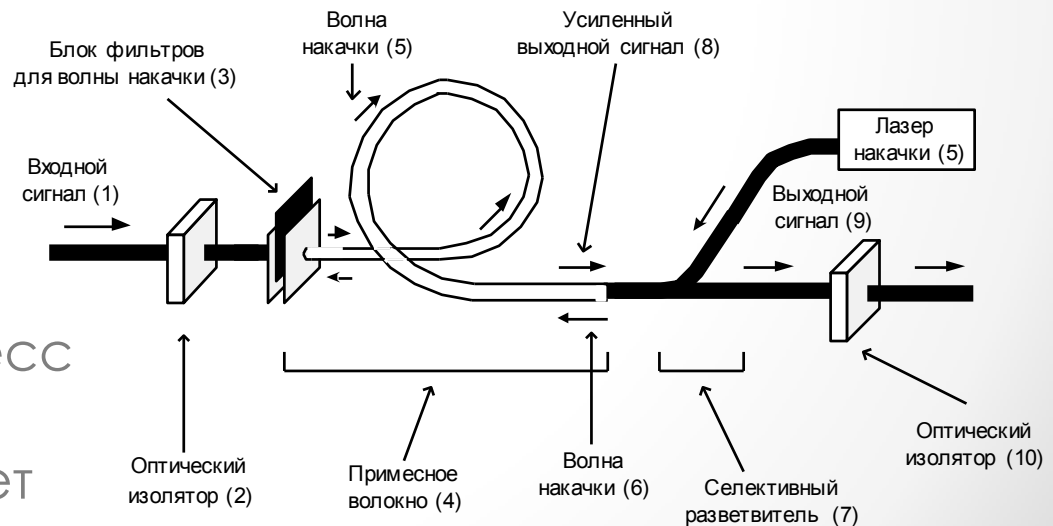
Для уменьшения френелевского отражения с обеих сторон активной среды наносится специальное просветляющее покрытие.



EDFA усилители

Усилитель EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) – волоконно-оптический усилитель на основе оптического волокна, легированном ионами эрбия.

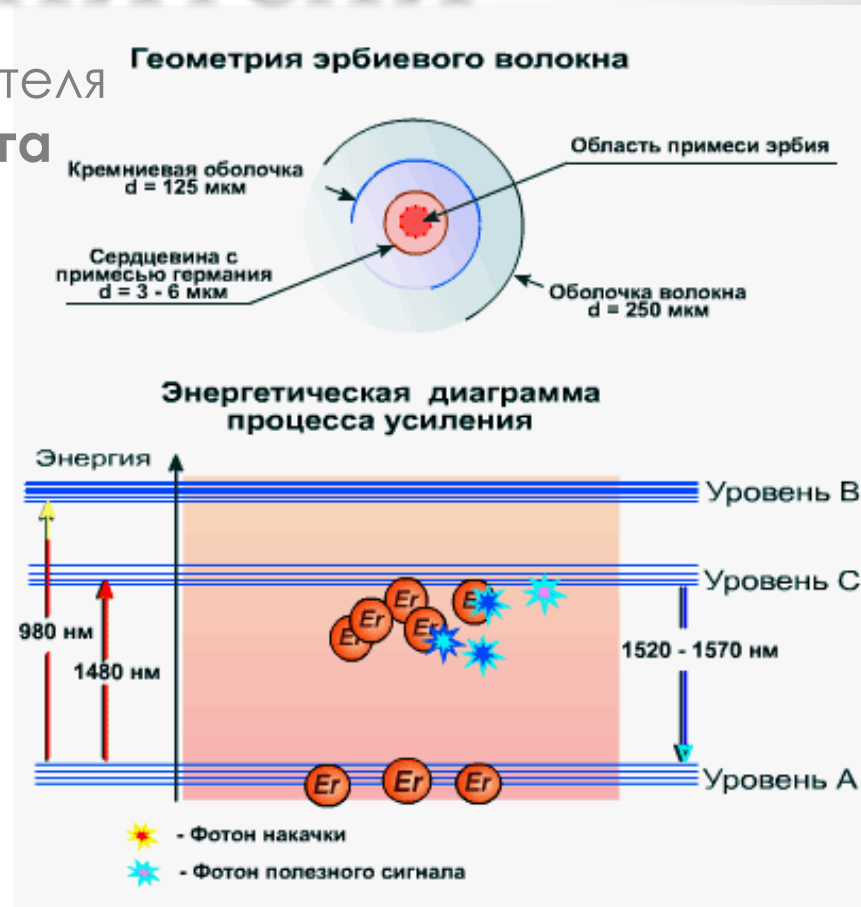
Смешанный свет попадает в область волокна, легированную ионами эрбия. Мощный луч лазера из источника накачки воздействует на ионы эрбия, переводя их внешние (оптические) электроны в возбужденные состояния, то есть происходит процесс увеличения (накопления) энергии в системе, за счет энергии квантов излучения накачки.



EDFA усилители

Принцип работы эрбиевого усилителя основан на явлении **усиления света при вынужденном излучении** (благодаря переходу между энергетическими уровнями $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$).

Под действием энергии накачки за счет поглощения фотонов накачки ионы эрбия переходят из **основного состояния** (уровень А) в **верхнее возбужденное состояние** (уровень В), которое является короткоживущим, и за счет процессов релаксации переходят в долгоживущее состояние на **метастабильный уровень энергии** (уровень С).



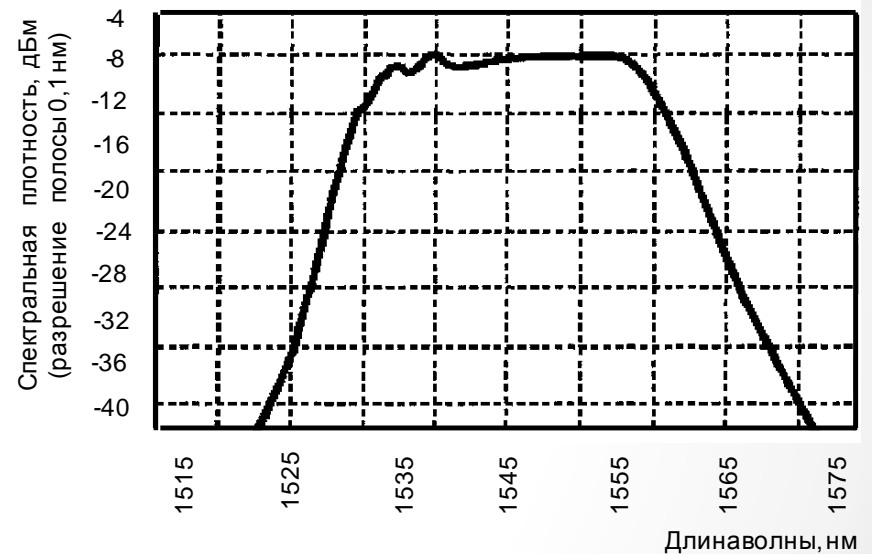
EDFA усилители



EDFA усилители

Зависимость коэффициента усиления оптического усилителя от длины волны.

В спектральном распределении коэффициента усиления оптического усилителя имеется широкий максимум на длине волны 1535 нм и относительно ровная область между 1540 и 1560 нм. Эта область шириной около 20 нм и является рабочим диапазоном усилителя EDFA, в пределах которого должны лежать длины волн всех каналов систем DWDM.



Усилители оптических сигналов

Расчет длины участка усиления:

$$L_y = \frac{P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}} - n_p \beta_p - A_{\text{зап}} - \beta_{\text{вв}} + \beta_{\text{н}}}{\alpha_{\text{км}} + \beta_{\text{н}} / L_{\text{стр}}}$$

где n_p, n_n – количество разъемных и неразъемных соединений в линейном тракте;

β_p, β_n – затухание в разъемных и неразъемных соединениях, дБ;

$L_{\text{стр}}$ – строительная длина используемого ВОК, км;

$A_{\text{зап}}$ – необходимый энергетический запас мощности сигнала, связанный с потерями из-за старения элементов оптического тракта, дБ;

$\alpha_{\text{км}}$ – километрическое затухание оптического кабеля, дБ/км;

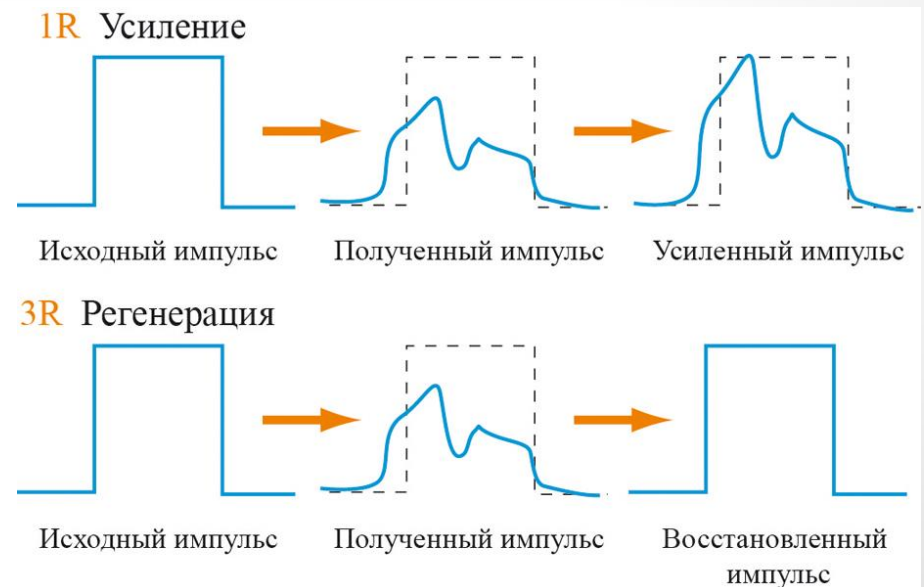
$\beta_{\text{вв}}$ – потери при вводе оптической энергии в волокно, дБ.

Оптические регенераторы

Оптический регенератор – устройство для восстановления оптического сигнала, посредством его преобразования в электрическую форму, корректировки, а затем обратного преобразования в оптический сигнал.

Регенератор принимает искаженный оптический сигнал на свой вход и преобразует его в почти идеальную копию сигнала, похожую на ту, какая была передана предыдущим передатчиком.

- **1R** – only reshaping;
- **3R** – retiming, reshaping and regeneration.
- Волоконно-оптические системы передачи



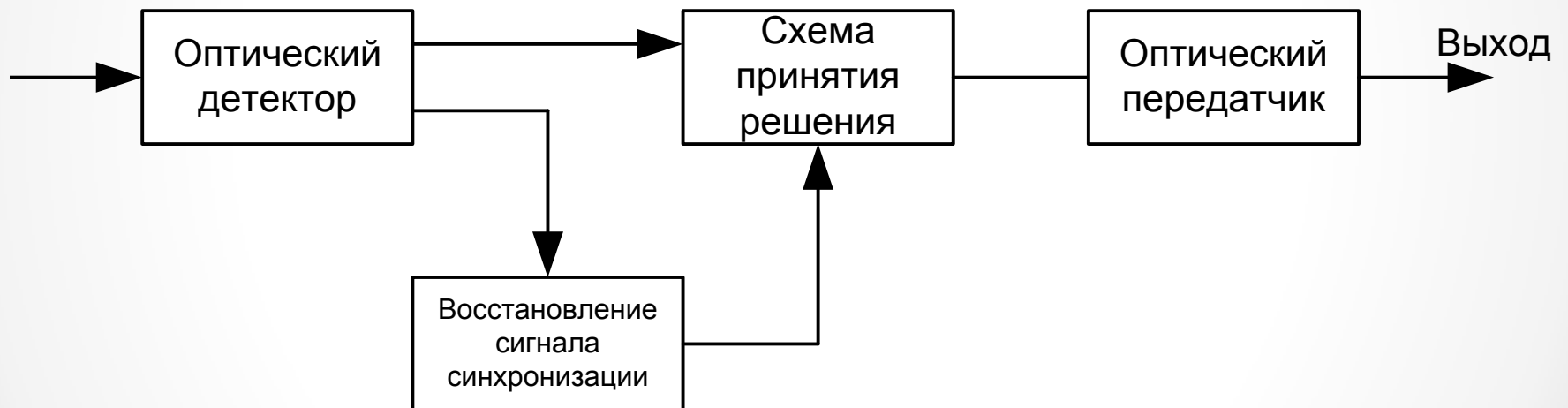
Оптические регенераторы

На вход регенератора поступает оптический сигнал, искаженный и ослабленный.

Оптические импульсы, которые представляют двоичные 1, преобразуются в электрические 1, а битовые позиции, где такой импульс отсутствует или его величина меньше порога регистрации, преобразуются в электрические двоичные 0.



Оптические регенераторы



Усилители оптических сигналов

Расчет мощности шума, вносимого усилителем:

$$P_{\text{ш ASE}} = P_{\text{ASE}} \cdot \Delta f.$$

где Δf – полоса частот, в которой осуществляется передача сигнала, Гц;

$$P_{\text{ASE}} = hf \frac{n_{sp}}{\eta} (G - 1)$$

где h – постоянная Планка, $h = 6,6252 \times 10^{-34}$ Вт·с²;

f – частота сигнала, Гц;

n_{sp} – коэффициент спонтанной эмиссии ($n_{sp} = 2$, поскольку распространяются две моды поляризации);

η – квантовая эффективность, $\eta = 1$;

G – коэффициент усиления усилителя.

Усилители оптических сигналов

Расчет ОСШ:

$$\text{ОСШ}_k = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{\text{с вых}}}{P_{\text{ш вых } k}} \right)$$

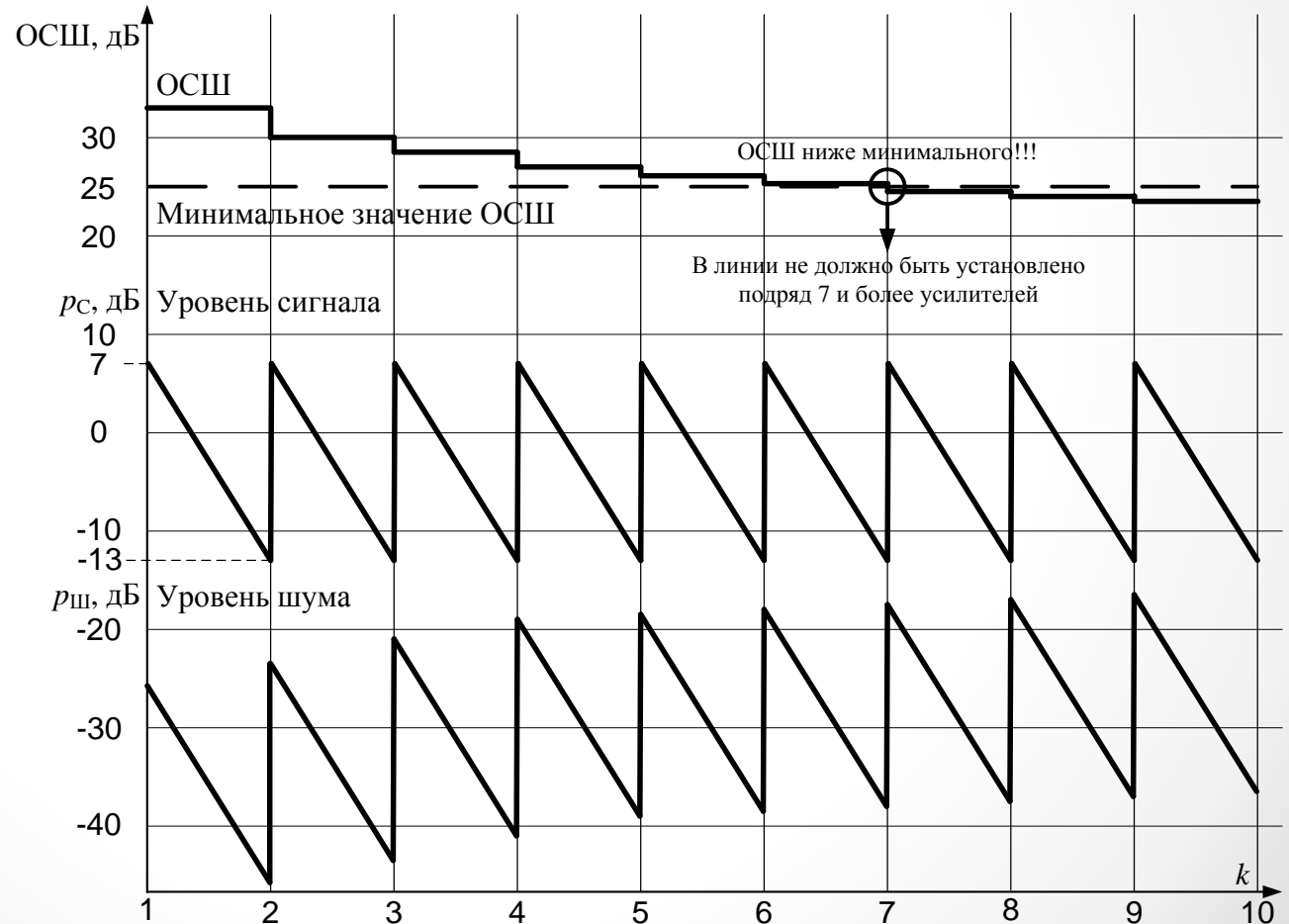
$$P_{\text{ш вых } k} = kP_{\text{ш ASE}}$$

$$\text{ОСШ}_k = p_{\text{пер}} - p_{\text{ш вых } k}$$

$$p_{\text{ш вых } k} = 10 \cdot \log \left(\frac{kP_{\text{ш ASE}}}{P_0} \right)$$

Оптические регенераторы

Расчет длины участка регенерации:

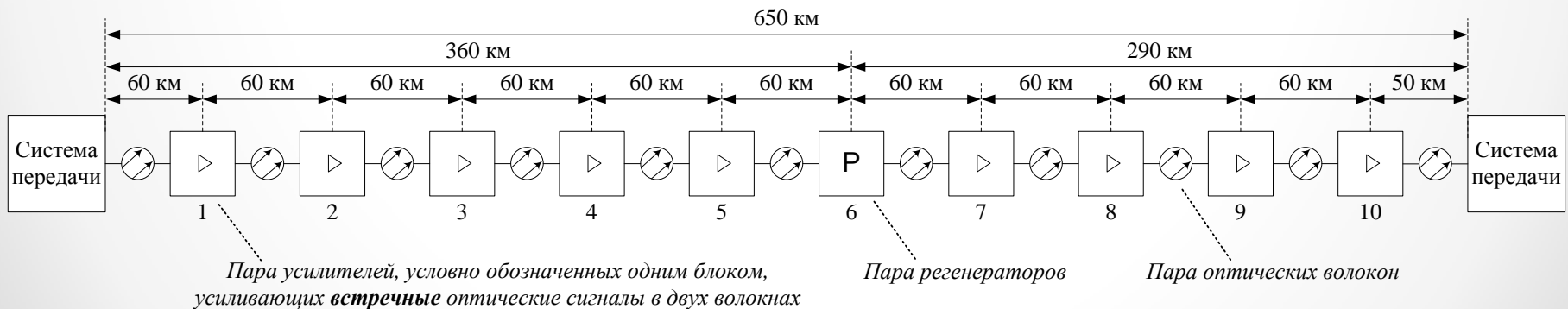


$$L_{\text{рег}} = 7L_y$$

Оптические регенераторы

Структурная схема расположения линейного оборудования (усилители и регенераторы) волоконно-оптической линии связи для следующих исходных данных:

- протяженность волоконно-оптической линии связи, $L - 650$ км;
- длина усилительного участка, $L_y - 62,41$ км;
- длина регенерационного участка, $L_p - 436,87$ км.



Мультиплексоры и демультиплексоры

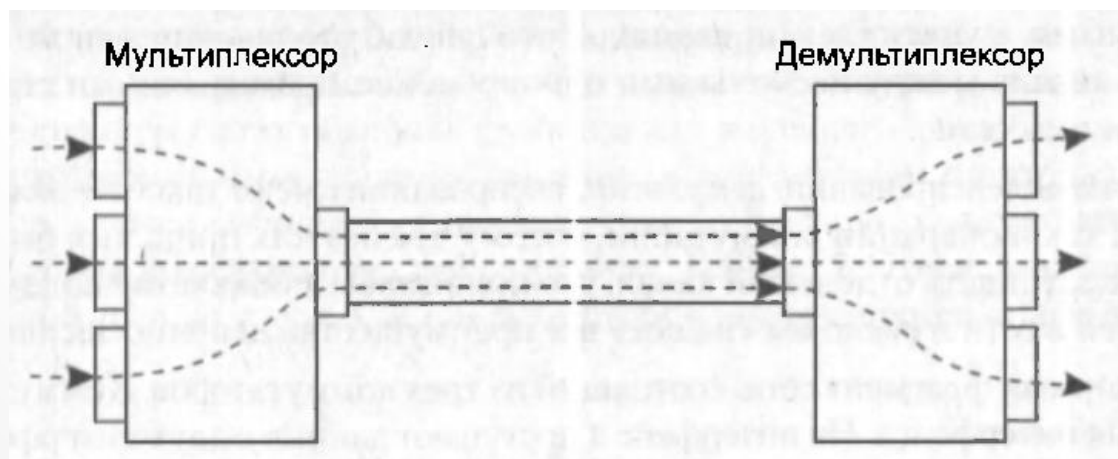
Мультиплексирование - образование из нескольких отдельных оптических потоков общего агрегированного оптического потока, который передается по одному оптическому волокну.

Демультиплексирование - разделение суммарного агрегированного оптического потока на несколько составляющих его оптических потоков.

Мультиплексоры и демультиплексоры

Устройство, у которого все входящие оптические потоки объединяются на один выходной оптический интерфейс, где они мультиплексируются в один агрегированный оптический поток, называется **мультиплексором**.

Устройство, которое имеет один входной оптический интерфейс и несколько выходных, называется **демультиплексором**.

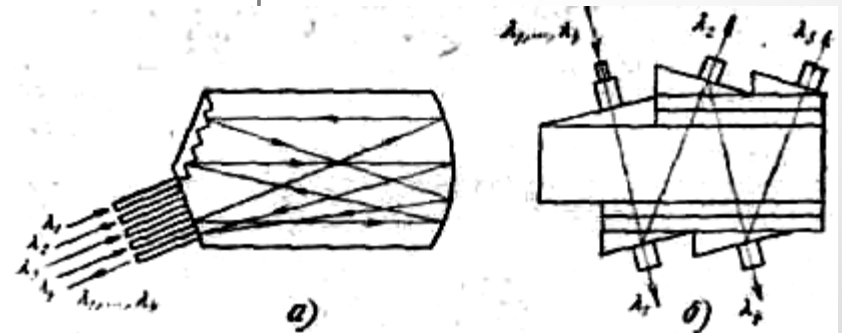


Мультиплексоры и демультиплексоры

Мультиплексоры подразделяются на:

- **спектрально-нечувствительные** – волоконные направленные ответвители, соединительные устройства, а также устройства на градиентных линзах;
- **спектрально-чувствительные** – содержат элементы, характеристики которых зависят от оптической длины волны (дифракционные решетки, призмы, фильтры).

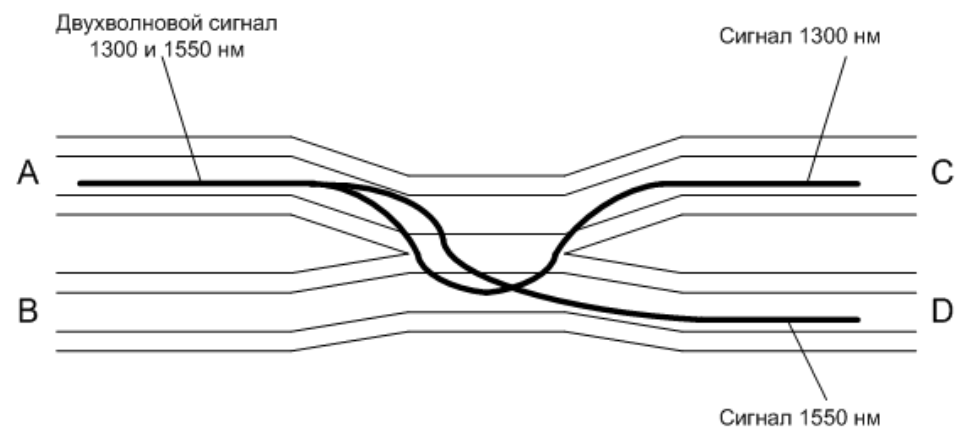
Мультиплексоры четырехканальный планарный на дифракционной решётке (а) и четырехканальный на интерференционных фильтрах (б).



Мультиплексоры и демультиплексоры

Демультиплексоры, входящие в состав систем со спектральным уплотнением, имеют структуру, аналогичную структуре спектрально-чувствительных мультиплексоров при обратном направлении распространения излучения.

Двухволновые мультиплексоры и демультиплексоры производятся с использованием волоконных разветвителей, позволяющих достичь низких вносимых потерь одновременно с высокой степенью изоляции каналов в широком диапазоне температур.



Мультиплексоры и демультиплексоры

В мультиплексорах ввода/вывода каналов волоконная брэгговская решетка может использоваться вместе с двумя циркуляторами.

Со стороны порта вывода канала циркулятор выделяет отраженную волну и направляет ее в порт вывода.

Со стороны порта ввода канала циркулятор добавляет в передаваемый составной сигнал один канал на той же длине волны, что была выделена.



Мультиплексоры и демультиплексоры

Дифракционные решетки отражают световой пучок некоторой длины волны под таким углом в плоскости падения, для которого разность набегов фаз от соседних элементов решетки равна 2π .

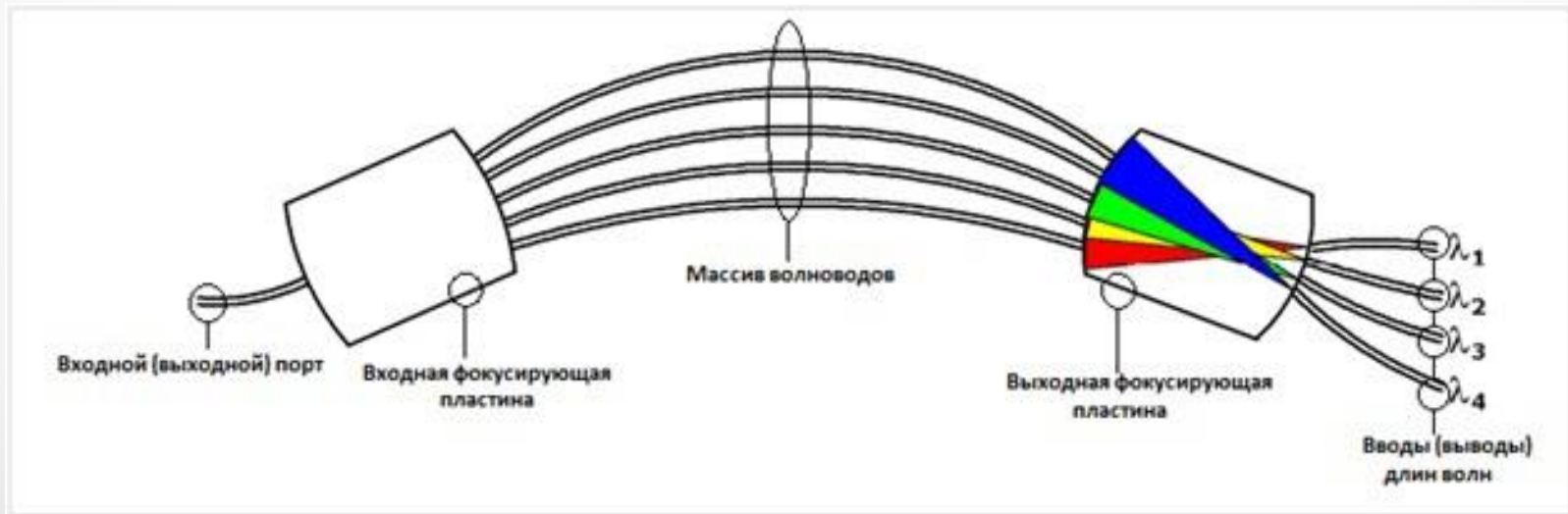
Величина этого угла зависит от длины волны.



Мультиплексоры и демультиплексоры

Мультиплексоры на основе массивов волноводов.

Принцип действия фазовой решетки состоит в том, что свет проходит через несколько сложенных строго параллельно волноводов разной длины, при этом разность длин постоянна.

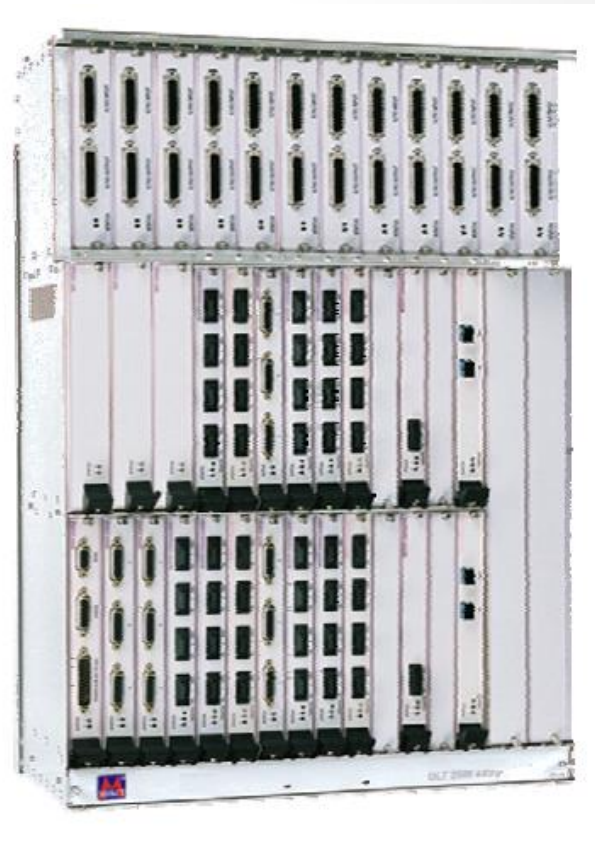


Мультиплексоры и демультиплексоры

Мультиплексор серии ОЛТ-155Д



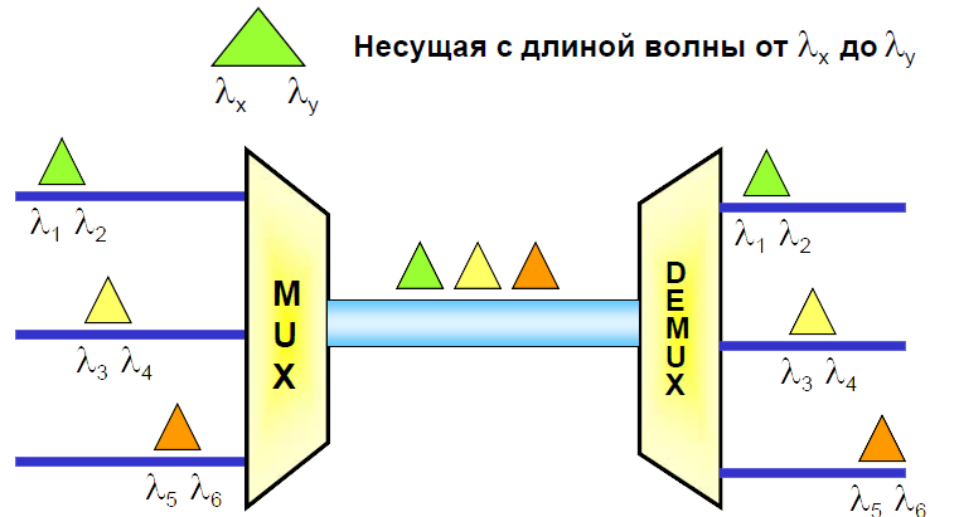
Мультиплексор серии ОЛТ-2500 eXtra



WDM

Технология **WDM (Wavelength Division Multiplexing)** позволяет создавать гибкие разветвленные оптические сети с практически неограниченными возможностями роста полосы пропускания.

Ее суть заключается в том, что по **одному** оптическому волокну одновременно передаются **несколько** информационных каналов на разных длинах волн, что позволяет максимально эффективно использовать возможности оптического волокна.

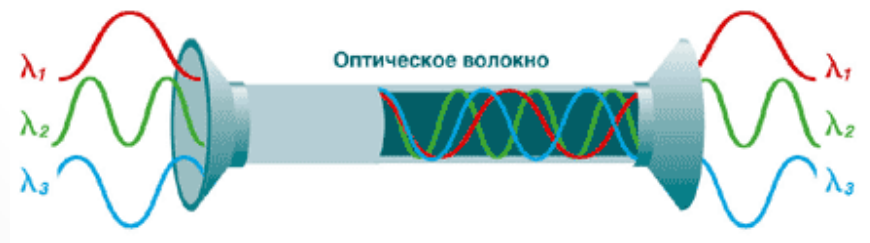


WDM

Первые системы WDM имели два канала в окнах 1330 и 1550 нм.

Затем появились 4-канальные системы, с расстоянием между каналами 8-10 нм в окне 1550 нм.

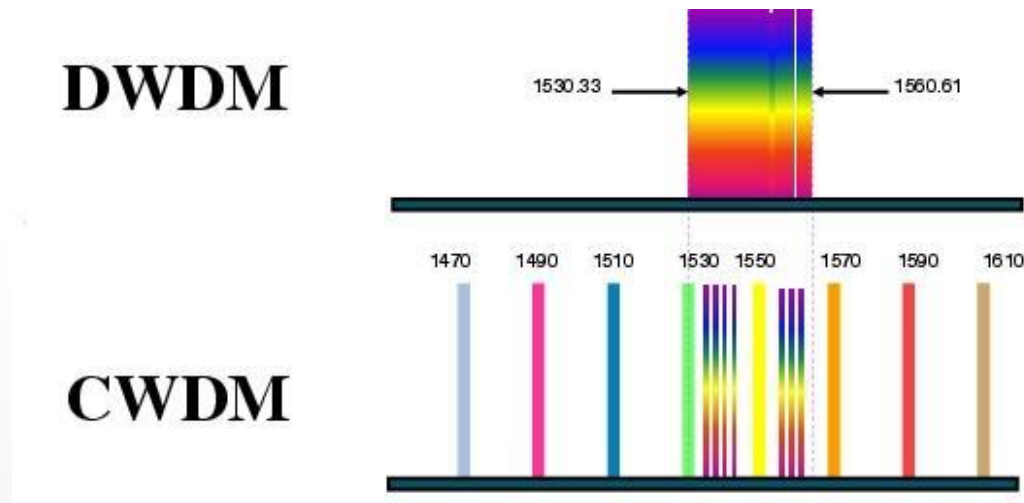
Современные системы WDM с шагом каналов по частоте более 200 ГГц позволяют мультиплексировать не более 16 каналов.



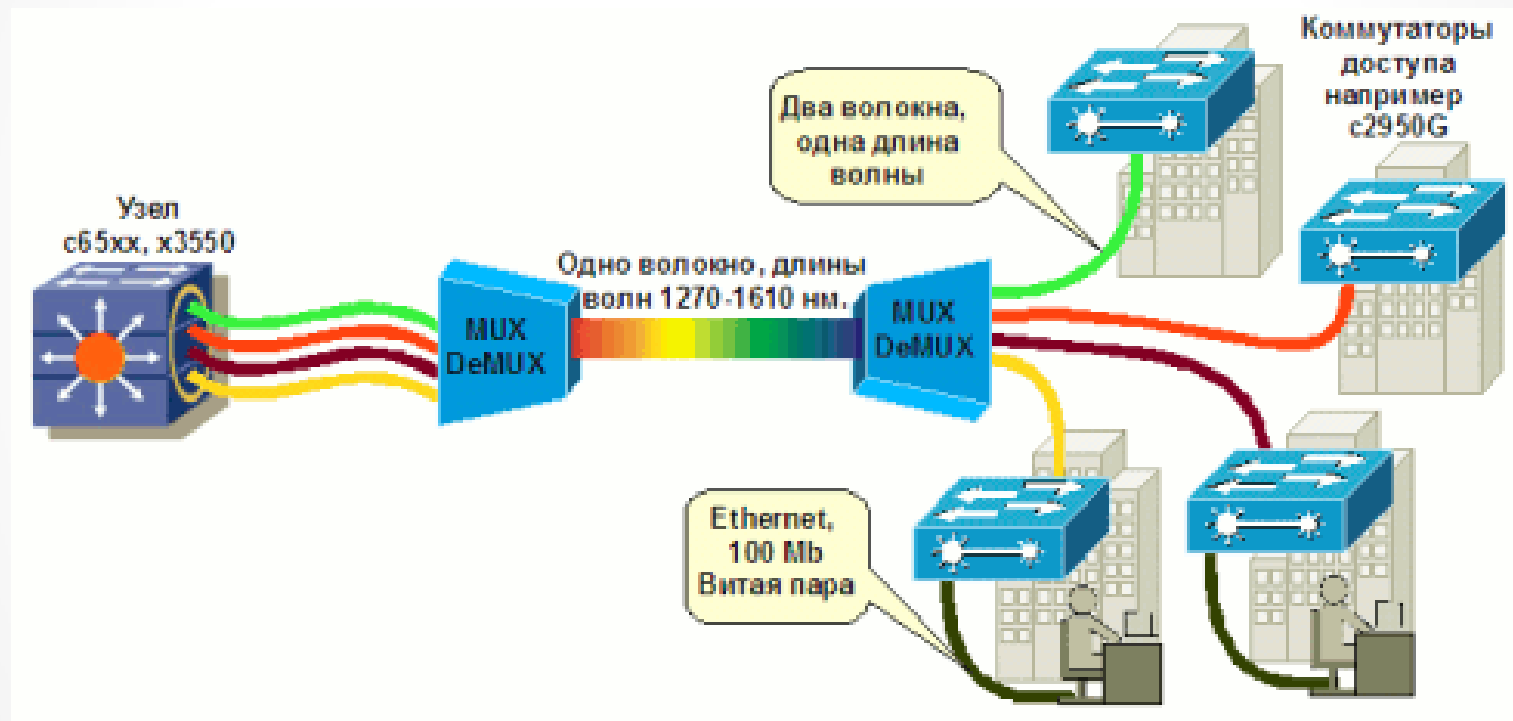
WDM

Разновидности WDM:

- **CWDM (Coarse)** – грубое спектральное уплотнение базируется на использовании каналов, которые отстают друг от друга на расстояние 20 нм.
- **DWDM (Dense)** – плотное волновое мультиплексирование – используется по отношению к WDM устройствам с расстоянием между соседними каналами 1,6 нм и менее.



Мультиплексоры и демультиплексоры



Мультиплексоры и демультиплексоры



Мультиплексоры и демультиплексоры

