

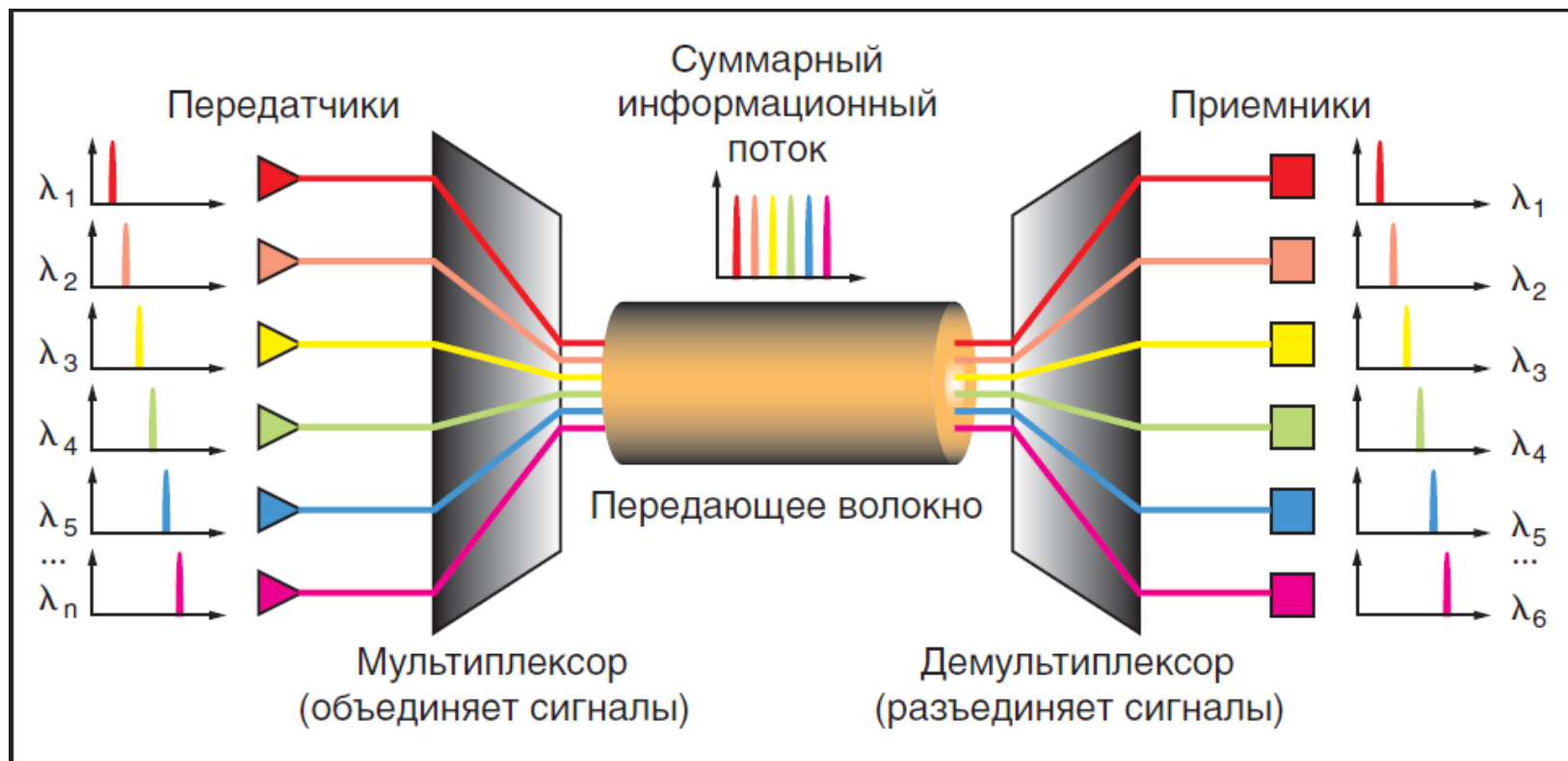
КОМПОНЕНТЫ DWDM-СИСТЕМ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Содержание

<u>Что такое DWDM?</u>	(3)
<u>Компоненты DWDM – систем</u>	(4)
<u>Факторы работы DWDM</u>	(5)
<u>Частотное согласование</u>	(9)
<u>DWDM – мультиплексор/демультиплексор</u>	(14)
<u>Оптический мультиплексор ввода / вывода</u>	(16)
<u>Регенератор (повторитель)</u>	(18)
<u>Блок компенсации дисперсии</u>	(20)
<u>Оптическое усиление</u>	(25)
<u>Искажения сигналов в DWDM – системе</u>	(47)
<u>Распространенные типы одномодовых волокон</u>	(74)
<u>Спектральные области в DWDM – системах</u>	(87)
<u>Литература</u>	(99)

Что такое DWDM?

Dense Wavelength Division Multiplexing — плотное волновое мультиплексирование





Компоненты DWDM-систем

- Схемы согласования DWDM-систем
- DWDM мультиплексор / демультиплексор
- Оптический мультиплексор ввода/вывода
- Регенератор (повторитель)
- Блок компенсации дисперсии

Основные факторы, определяющие работу DWDM линии связи

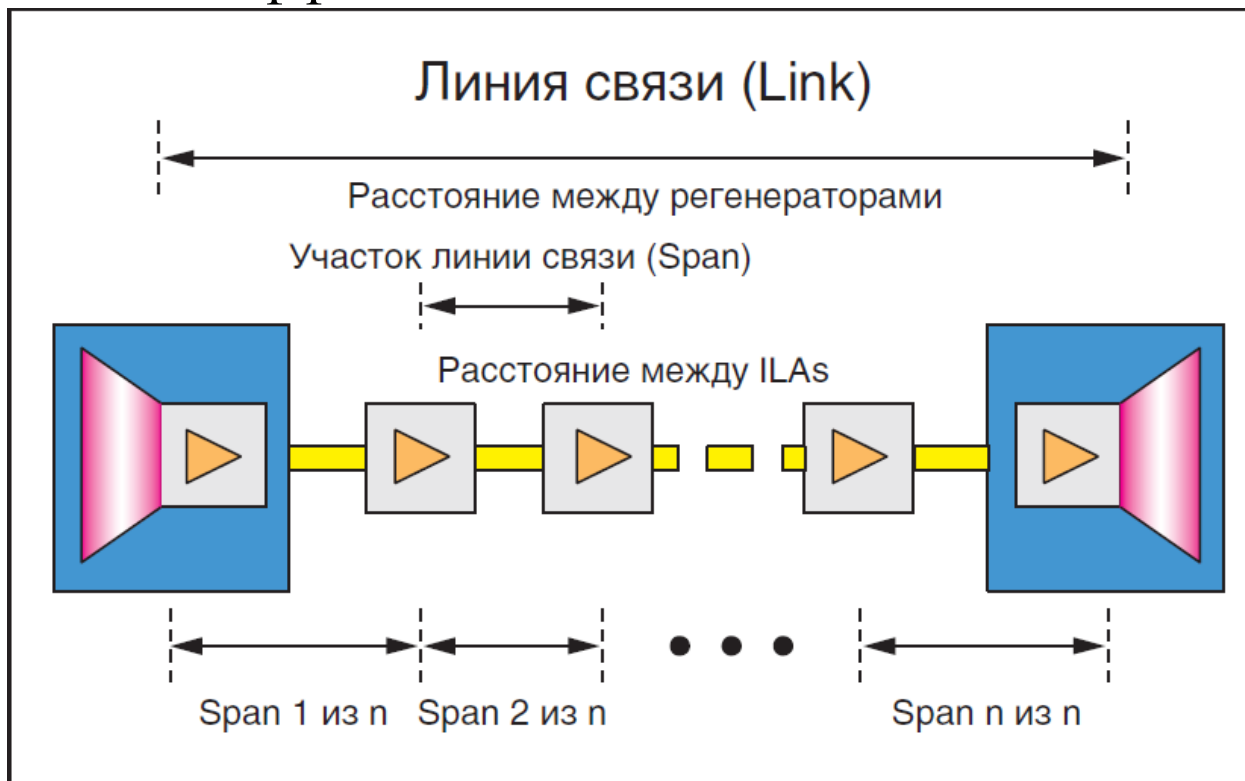
- Выходная мощность усилителя
- Тип волокна
- Расстояние между усилителями
- Число каналов
- Скорость передачи на канал

Выходная мощность усилителя / Тип волокна

- **Выходная мощность усилителя** – *Повышение мощности усилителя позволяет увеличить расстояние между линейными усилителями (ILAs – in-line amplifiers) за счет увеличения отношения сигнал/шум.*
- **Тип волокна** – *Новые поколения оптических волокон обладают меньшими потерями, чем старые, поэтому сигналы можно передавать на большие расстояния, не повышая при этом выходную мощность усилителей.*

Расстояние между усилителями

- Меньшее расстояние между линейными усилителями (ILAs) позволяет уменьшить необходимую выходную мощность усилителей, повышая тем самым устойчивость сигналов к нелинейным эффектам.



Число каналов / Скорость передачи на канал

- ❖ **Число каналов** – Увеличение числа каналов повышает пропускную способность сети, при этом усиление сигналов, передаваемых по каждому каналу, должно быть примерно одинаковым.
- ❖ **Скорость передачи на канал (канальная скорость)** – Увеличение канальной скорости также приводит к увеличению пропускной способности линии. Но искажения сигналов в DWDM-линии, например вследствие поляризационной модовой дисперсии (ПМД), сильнее сказывается на качестве связи при больших скоростях передачи.

Частотное согласование

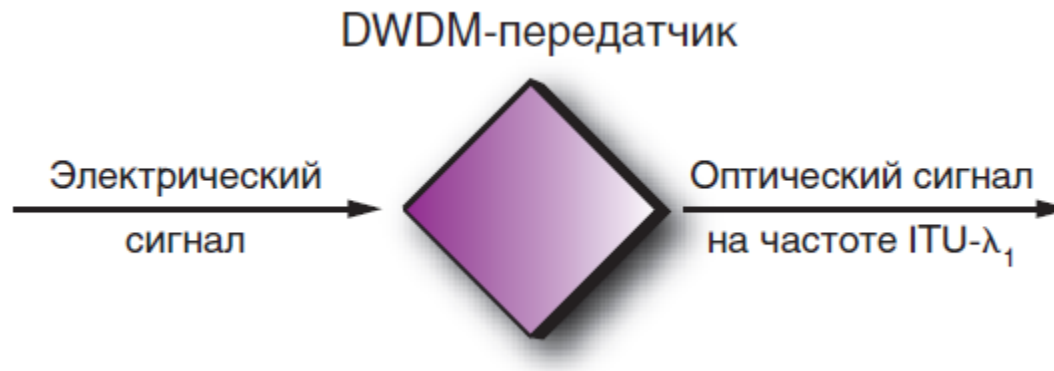
- Частотный план ITU-T
- Схемы частотного согласования DWDM – систем:
 1. DWDM-передатчики
 2. DWDM-транспондеры
 3. Волновые конверторы

Частотный план ITU-T

- Для согласования работы различных участков телекоммуникационной сети возникает необходимость преобразовывать частоты передаваемых сигналов. Все компоненты DWDM-систем работают на стандартизованных частотах из частотного плана ITU-T.

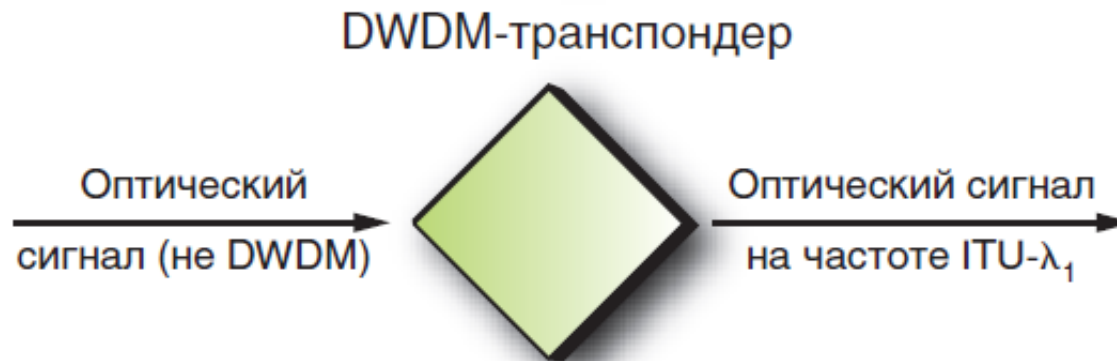
DWDM-передатчики

- Используют для преобразования электрического сигнала на входе в DWDM-систему в оптический сигнал на нужной ITU-частоте



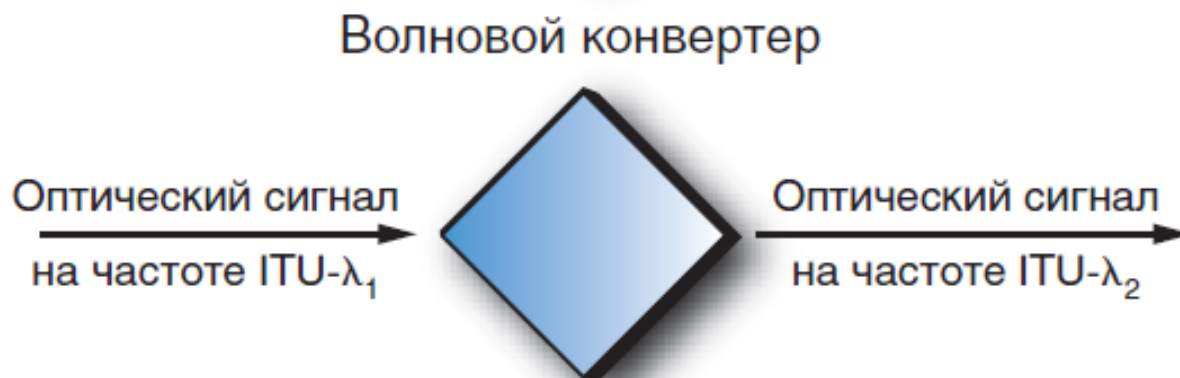
DWDM-транспондеры (или частотные адаптеры)

- Применяют для соответствующего преобразования оптического сигнала (до входа в DWDM-систему его частота не входит в частотную сетку ITU-T)



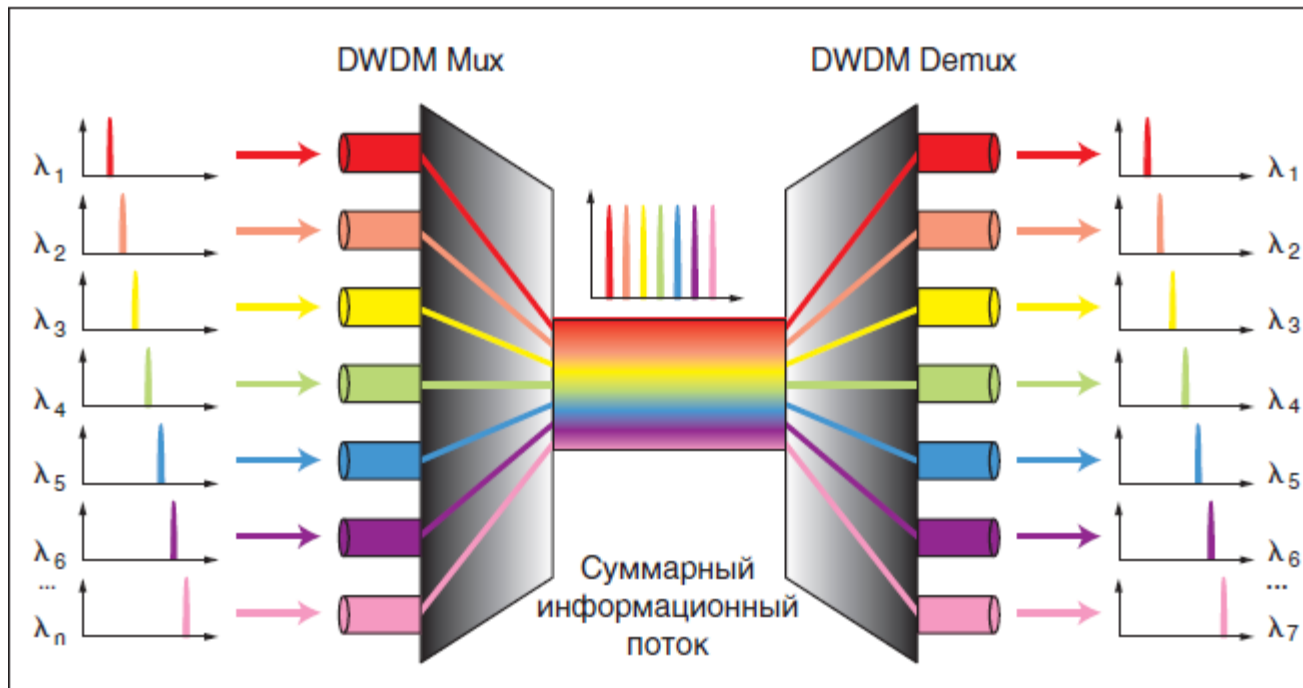
Волновые конверторы

- Если внутри DWDM-системы частоты одного DWDM-устройства не совпадают с частотами другого (при этом все эти частоты входят в сетку ITU-T), для согласования работы этих устройств используют



DWDM мультиплексор / демультиплексор

- DWDM-мультиплексор (Mux)
- DWDM-демультиплексор (Demux)



Технологии, применяемые при создании Mux/Demux

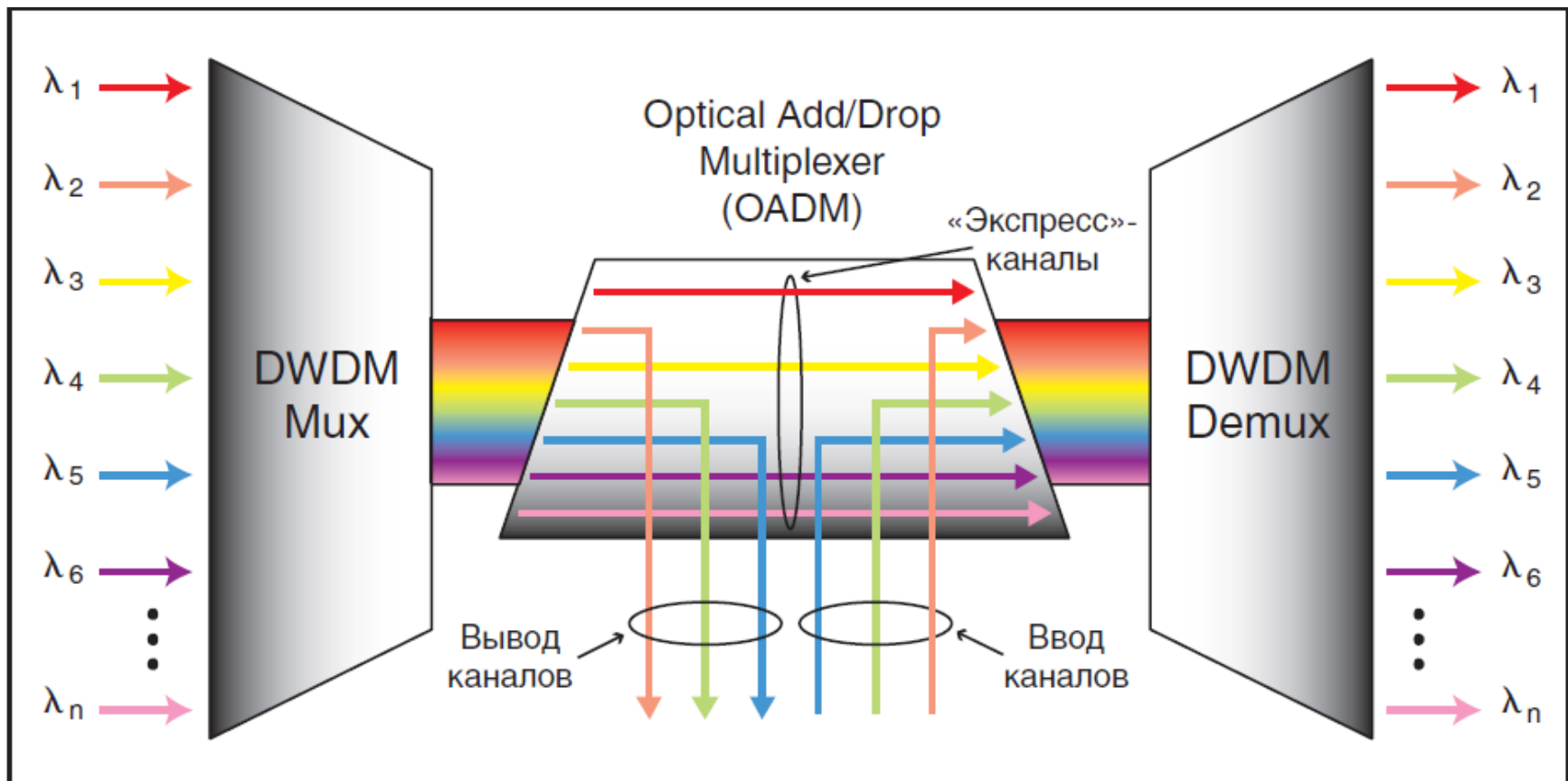
- тонкие пленочные светофильтры;
- волоконные брэгговские решетки;
- дифракционные решетки;
- решетки на основе массива волноводов (AWG – Arrayed Waveguide Gratings);
- сварные биконические разветвители

Оптический мультиплексор ввода / вывода

(OADM – optical add-drop multiplexer)

- **Зачем он нужен?** OADM добавляет или выводит из суммарного многоканального информационного потока отдельные частотные каналы прямо в линии связи, выполняя функцию ввода-вывода на оптическом уровне.
- Схема мультиплексора ввода / вывода

Схема мультиплексора ввода / вывода

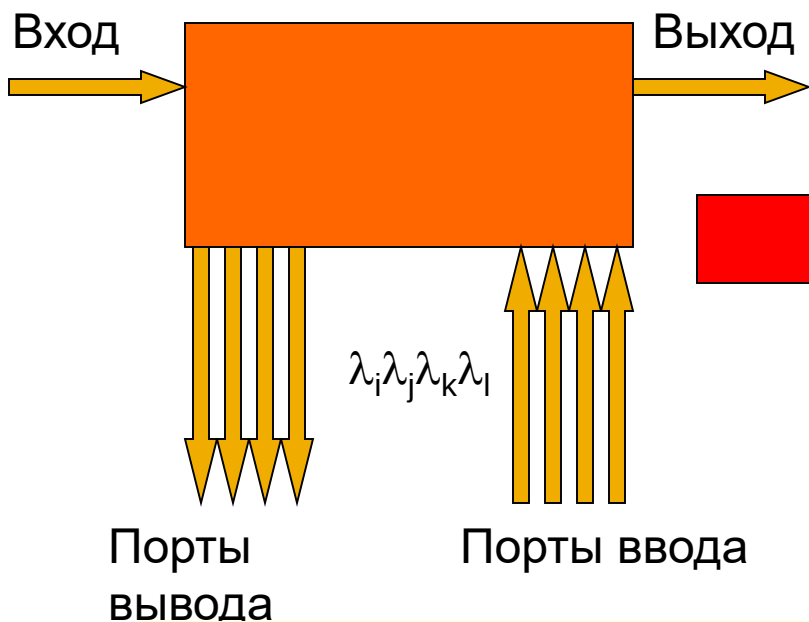


ROADM

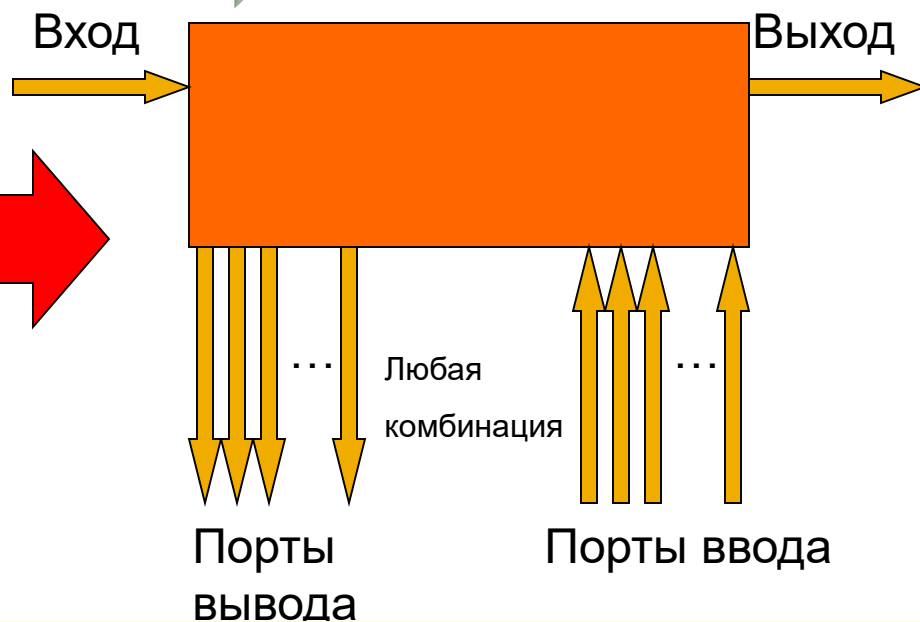
Задача:

Динамическое
выделение любого
канала на любом узле

OADM

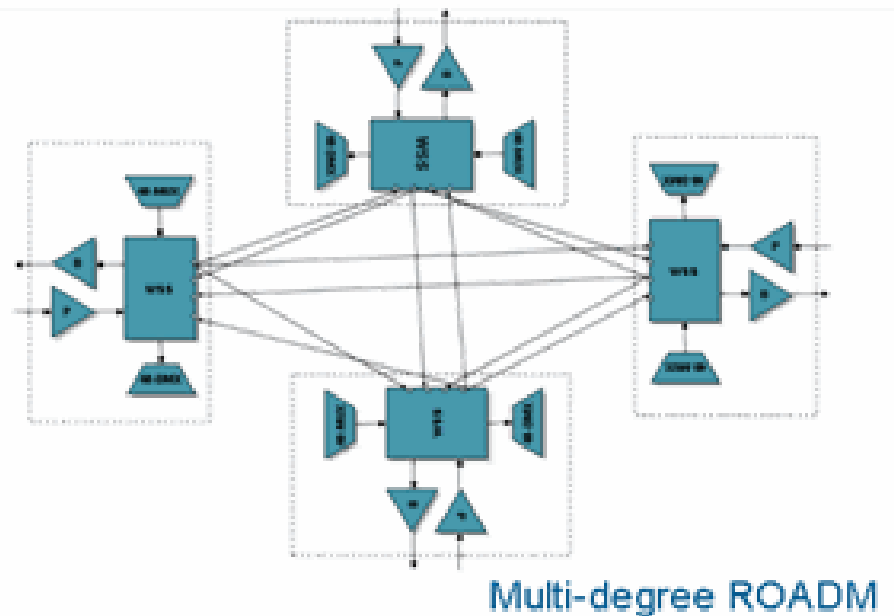
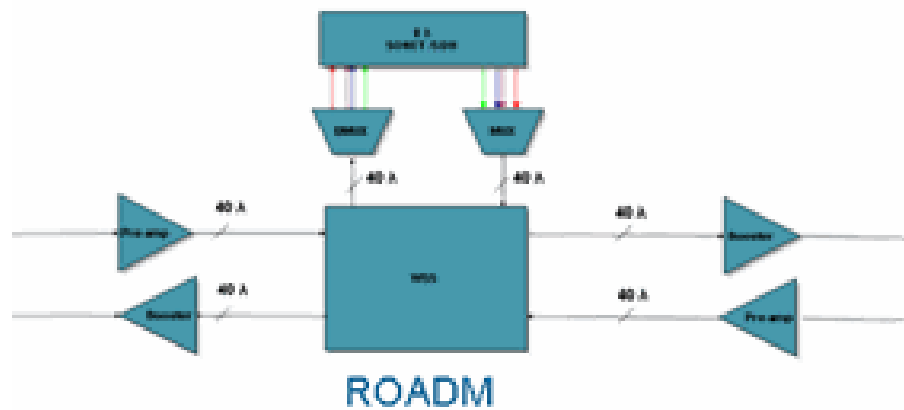
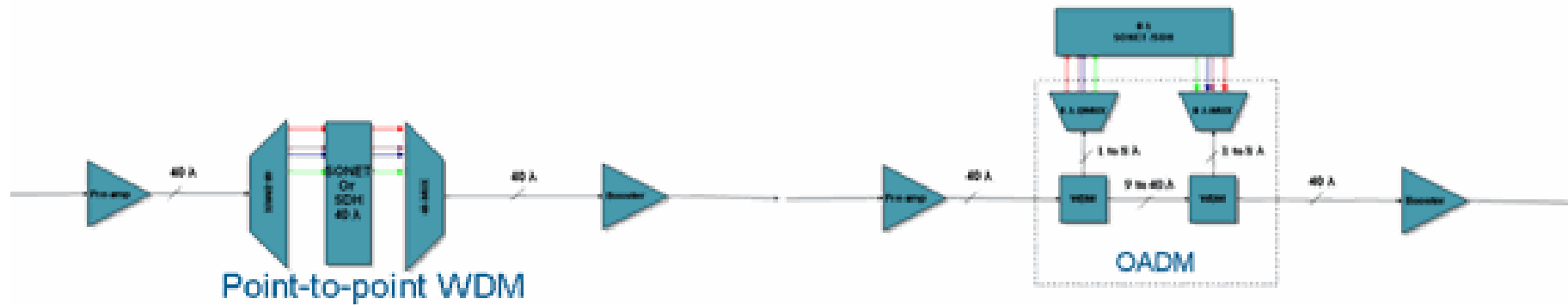


ROADM



reconfigurable optical add/drop multiplexers (ROADM) - перестраиваемый оптический мультиплексор ввода-вывода

WDM эволюция от point-to-point к ROADM

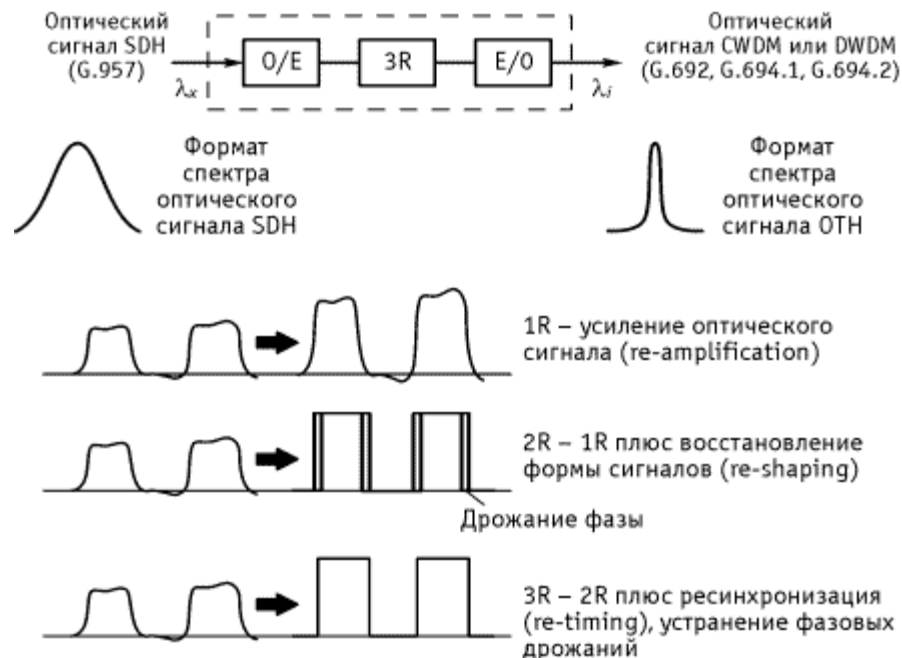


Регенератор (повторитель)

- ❖ Оптический усилитель производит одно «восстанавливающее действие» (1R) *по отношению к* сигналу – усиление, в процессе которого усиливается также и шум. На каждом участке линии после усилителя усиленный шум суммируется, что приводит к ухудшению отношения сигнал/шум и, соответственно, к ухудшению качества сигнала.

Регенератор (повторитель)

- **R** – от англ. *Regeneration* – восстановление;
- **1R** – *Re-amplification* – усиление;
- **2R** – *Re-amplification* + **Re-shaping** (восстановление формы),
- **3R** – *Re-amplification* + *Re-shaping* + **Re-timing** (восстановление синхронизации)

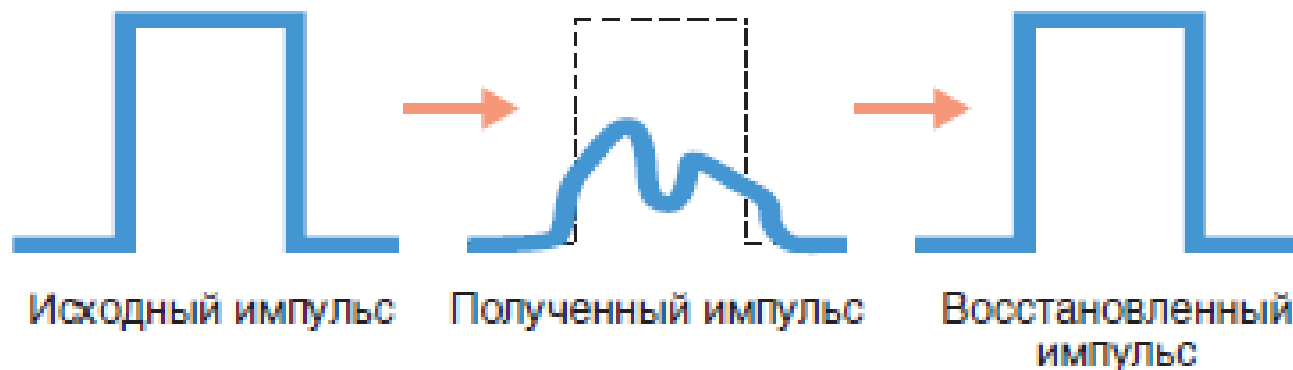


Усиление и регенерация импульсов

1R Усиление



3R Регенерация



Блок компенсации дисперсии

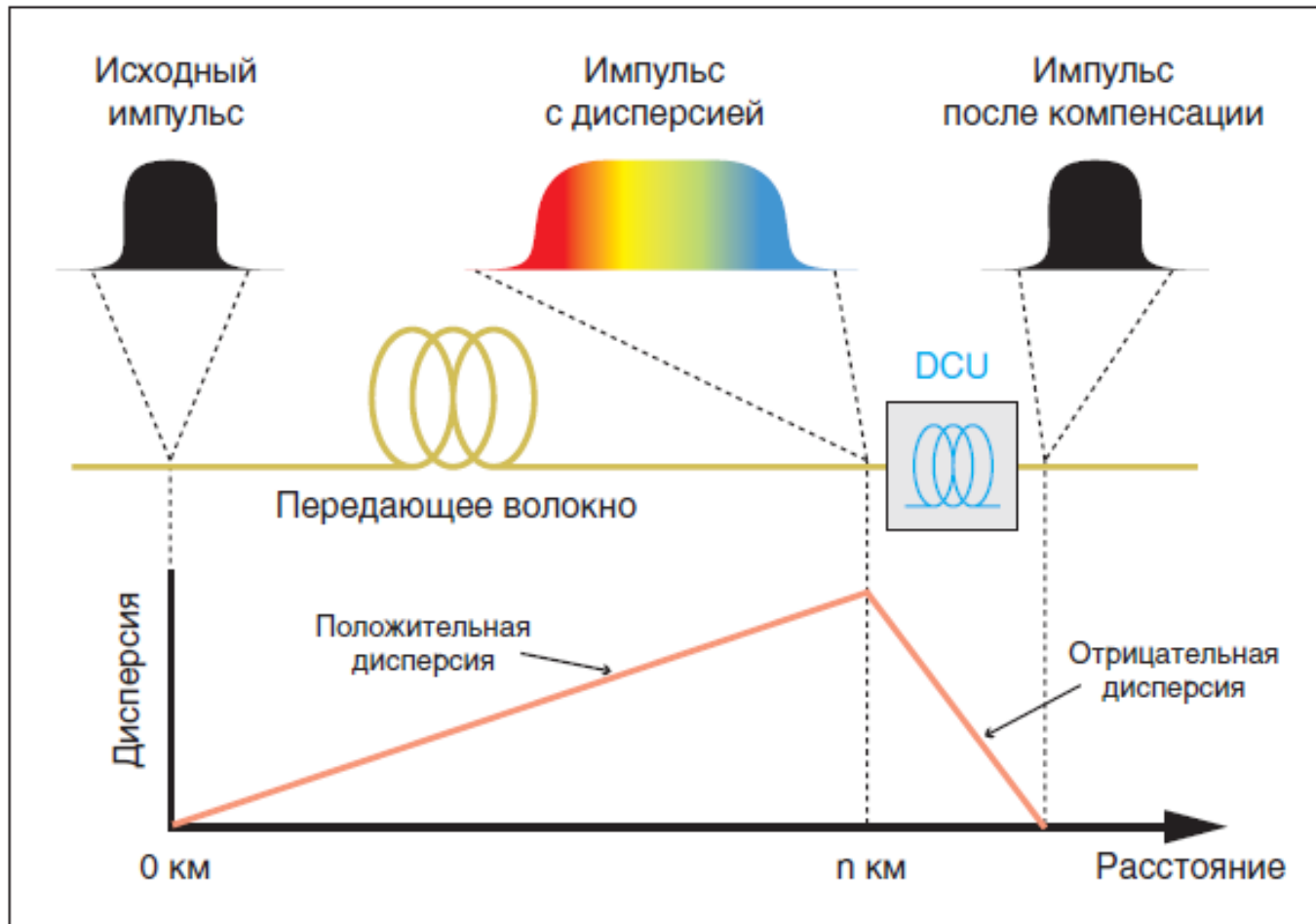
(DCU – dispersion compensation unit)

- Зачем он нужен?
- Передающее волокно
- Блок компенсации дисперсии (DCU)

Зачем он нужен?

- ❖ DCU компенсирует дисперсию передающего (телекоммуникационного) волокна. Чтобы компенсировать «расплывание» (уширение) импульса под действием положительной дисперсии передающего волокна, используется DCU с отрицательной дисперсией.
- ❖ Компенсация дисперсии в DCU

Компенсация дисперсии в DCU



Передающее (телекоммуникационное) волокно

- Стандартное одномодовое волокно (SSMF) обладает положительной дисперсией (более короткие «синие» длины волн распространяются быстрее, чем более длинные «красные»).
- Значение дисперсии на длине волны 1550 нм для SSMF равно 17 пс/нм*км.

Блок компенсации дисперсии (DCU)

- Обычно применяется компенсирующее дисперсию волокно.
- Действие отрицательной дисперсии нейтрализует действие положительной дисперсии в передающем волокне.
- Волокна, используемые в DCU, имеют большое значение коэффициента хроматической дисперсии на единицу длины, что позволяет делать их значительно короче, чем передающее волокно.

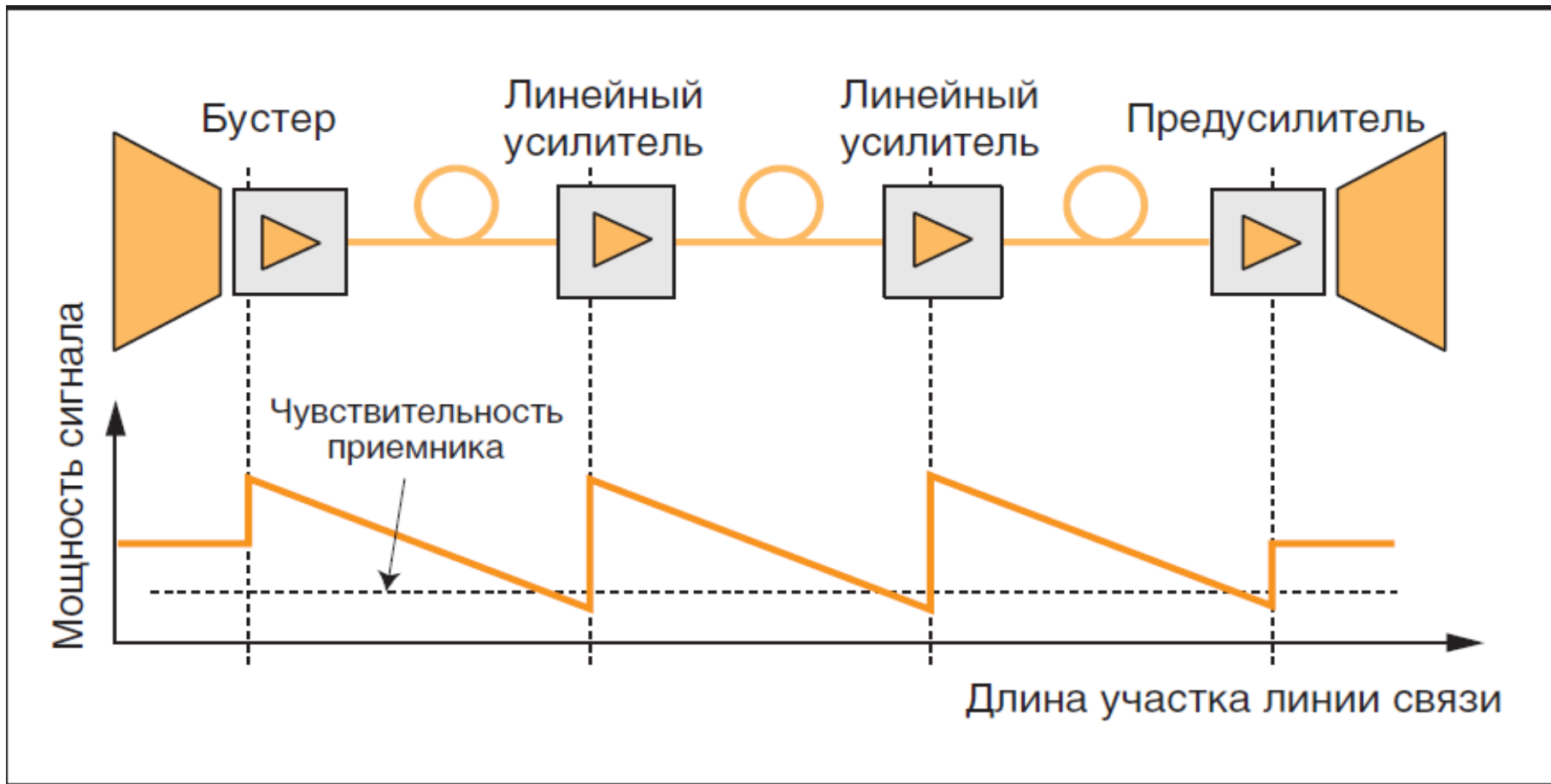
Оптическое усиление

- Описание
- Усилитель мощности (бустер, postamplifier)
- Линейный усилитель
- Предусилитель
- Стандартные типы усилителей
- Эрбиевый волоконный усилитель
- Лазер накачки
- Рамановский оптический усилитель
- Полупроводниковый оптический усилитель

Описание

- ❖ Затухание света в волокне ограничивает дальность передачи расстоянием, на котором уровень сигнала падает ниже уровня чувствительности приемника. Усиление позволяет увеличить дальность передачи.
- ❖ К сожалению, усилители при этом увеличивают шум и различные искажения импульса.

Усиление сигнала в DWDM-линии связи



Усилитель мощности (бустер, postamplifier)

- Устанавливается сразу после передатчика (например, лазерного диода) и предназначен для дополнительного усиления передаваемого сигнала.

Линейный усилитель (ЛА)

- ❖ Устанавливается в промежуточных точках линии связи, примерно через каждые 80–100 км, нужен для усиления сигнала, ослабленного из-за затухания в оптоволокне или других компонентах линии. ЛА работает с сигналом только в оптическом диапазоне и выполняет только одно «восстанавливающее действие» (1R) – усиление.

Предусилитель (preamplifier)

- Устанавливается непосредственно перед приемником для усиления сигнала до уровня, входящего в диапазон чувствительности приемника

Стандартные типы усилителей

- эрбиевые волоконные усилители (EDFA – erbium doped fiber amplifiers);
- рамановские (ВКР) волоконные усилители (ВКР – вынужденное комбинационное рассеяние);
- полупроводниковые оптические усилители (SOA – semiconductor optical amplifiers).

Эрбиевый волоконный усилитель (EDFA – Erbium doped fiber amplifier)

Преимущества эрбиевых волоконных усилителей

- эффективная накачка;
- минимальная зависимость от поляризации;
- высокая выходная мощность;
- низкий уровень шума;
- минимальные вносимые искажения и перекрестные помехи.

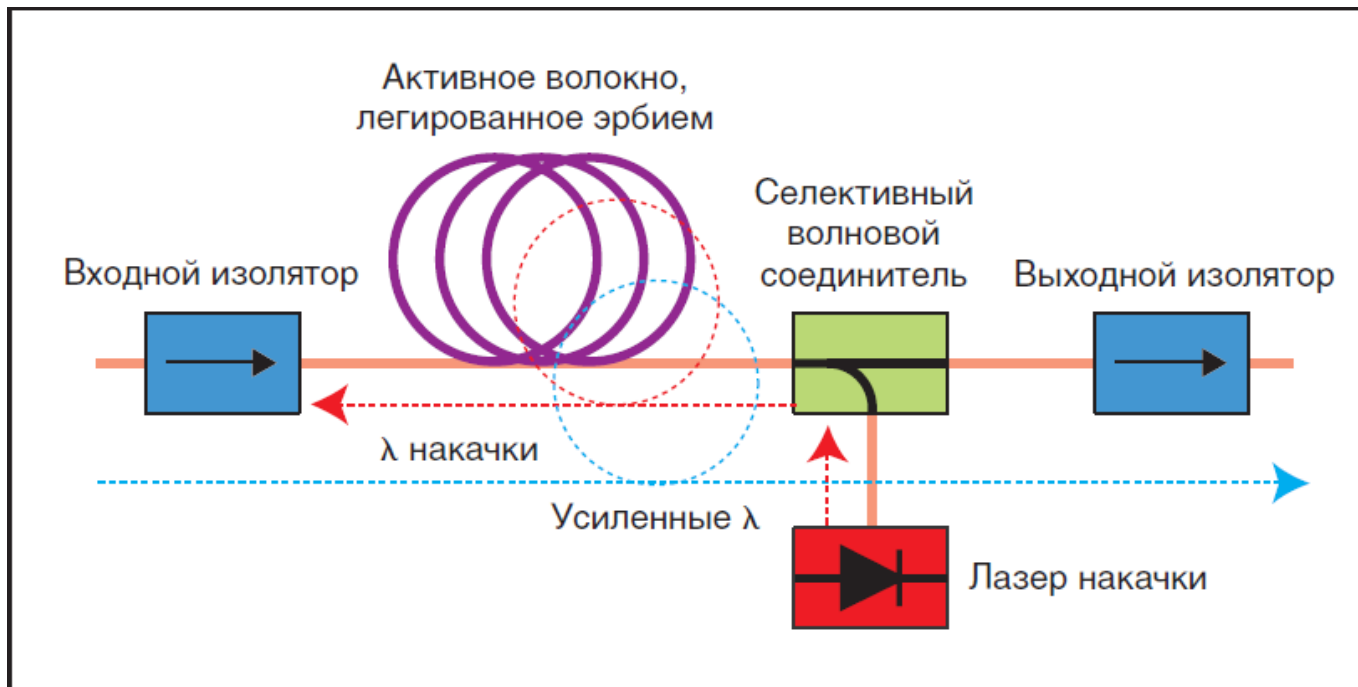
Эрбиевый волоконный усилитель (EDFA – Erbium doped fiber amplifier)

Недостатки эрбиевых волоконных усилителей

- работают только в С- и L-областях;
- менее эффективны, чем рамановские усилители, при большой мощности накачки (при использовании большого числа каналов).

Лазер накачки

- Источником накачки обычно служит лазер, излучающий на длине волны 980 или 1480 нм



Волокно, легированное эрбием

- ❖ Одномодовое волокно, легированное ионами эрбия, служит активной средой, преобразующей излучение накачки в излучение на частоте сигнальной волны (см. пред . рис)

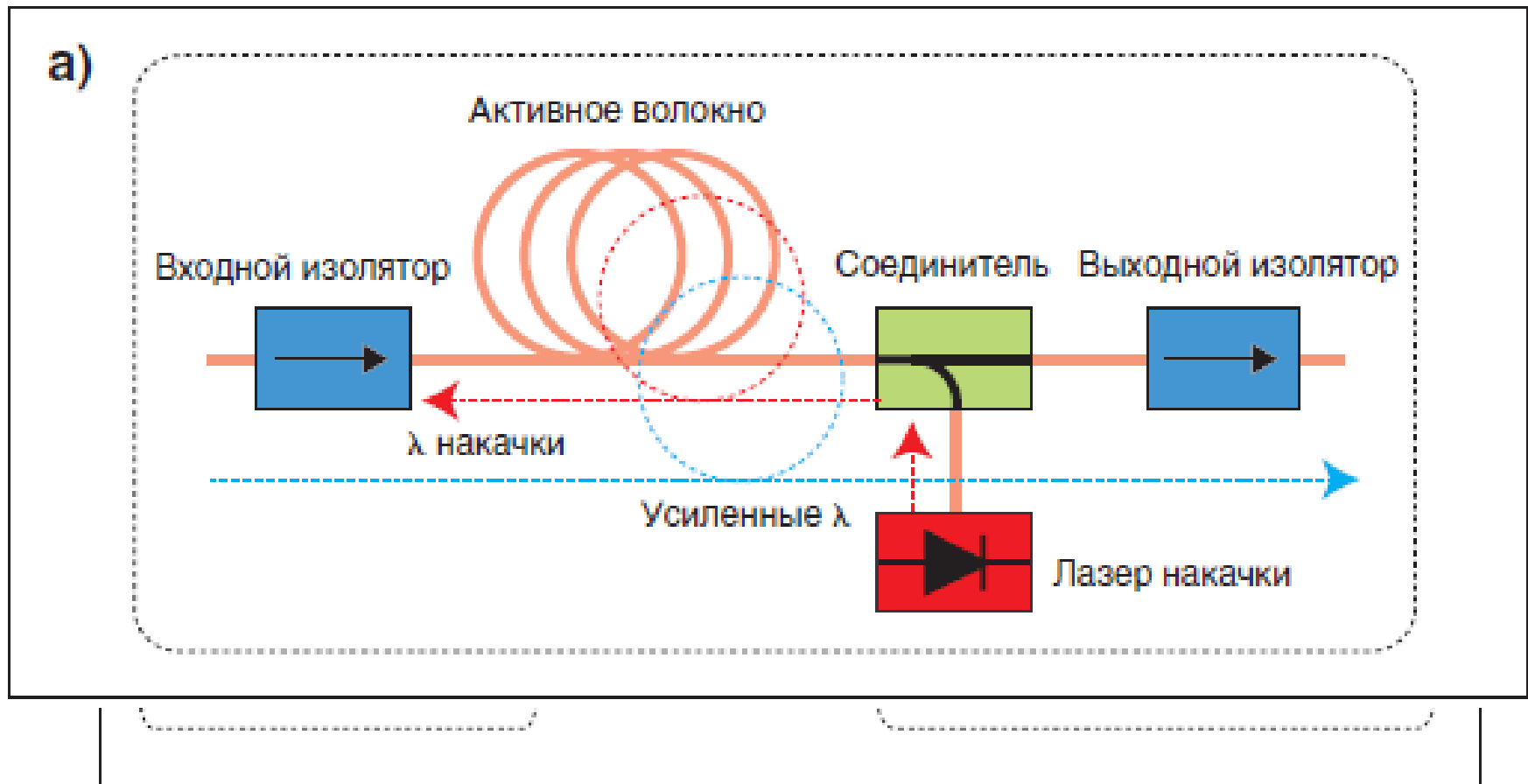
Селективный волновой соединитель (coupler)

- Вводит излучение лазера накачки с длиной волны 980 или 1480 нм в активное волокно, при этом вносит минимальное затухание сигнала (см. пред. рис.)

Изолятор

- ❖ Пропускает излучение, распространяющееся в прямом направлении (направлении распространения сигнала) и препятствует распространению света во встречном направлении. В частности, выходной изолятор препятствует попаданию в усилитель излучения, отраженного от внешних элементов линии связи

Рамановский оптический усилитель



Рамановский оптический усилитель

- Физика усиления
- Преимущества рамановских усилителей
- Недостатки рамановских усилителей

Физика усиления

- ❖ Рамановские усилители построены на эффекте вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР)¹⁰, при котором мощность накачки преобразуется в излучение на частоте сигнальной волны.

Преимущества рамановских усилителей

- Широкий спектр усиления, позволяющий применять рамановские усилители в C-, L- и S-областях.
- Рамановское усиление можно получить в стандартных волокнах.
- Большая, чем у EDFA, эффективность при больших мощностях накачки (возможность применения при большем числе каналов).

Недостатки рамановских усилителей

- ❖ Меньшая, чем у EDFA, эффективность при меньших мощностях накачки (неудобство применения при небольшом числе каналов).

Полупроводниковый оптический усилитель (SOA)

- Физика усиление
- Преимущества полупроводниковых усилителей
- Недостатки полупроводниковых усилителей

Физика усиления

- Как и в полупроводниковом лазере, в SOA накачка активной среды создается инжекцией носителей заряда в рабочую область. Для предотвращения возникновения паразитной генерации на торцы активного элемента наносят антиотражающие покрытия.

Преимущества полупроводниковых усилителей

- Усилитель представляет собой маленькое полупроводниковое устройство, что позволяет интегрировать его в другие элементы и делает возможным его массовое производство.
- Широкий спектр усиления.

Недостатки полупроводниковых усилителей

- большой уровень шума по сравнению с эрбиевыми или рамановскими усилителями;
- низкая выходная мощность;
- большие перекрестные помехи между каналами;
- чувствительность к поляризации входящего света;
- большие вносимые потери;
- трудности соединения SOA с передающим волокном.

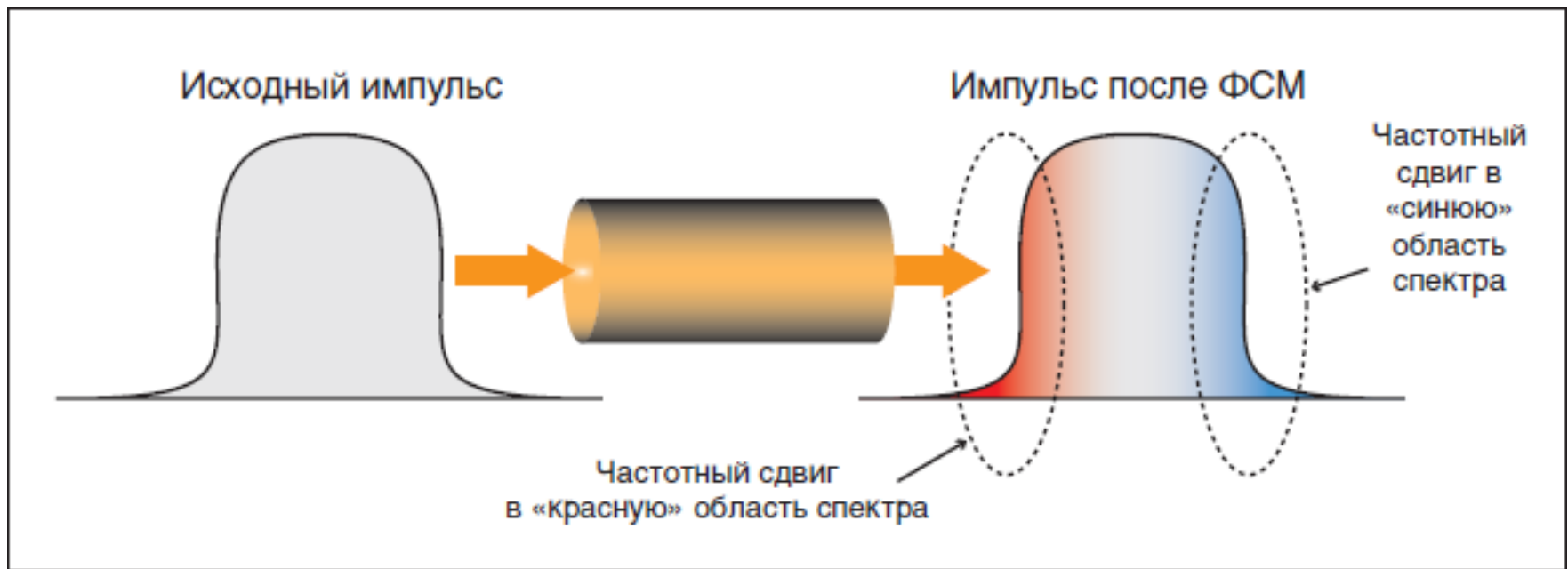
Искажения сигналов в DWDM-системе

- Фазовая самомодуляция (ФСМ)
- Поляризационная модовая дисперсия
- Хроматическая дисперсия (ХД)
- Четырехволновое смешение
- Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР)
- Фазовая кросс-модуляция (ФКМ)

Фазовая самомодуляция (ФСМ)

- Показатель преломления волокна зависит от интенсивности оптического сигнала (эффект Керра), что приводит к зависимости набега фазы от интенсивности. ФСМ приводит к частотному сдвигу на переднем и заднем фронте спектра импульса, *так как в этих областях интенсивность, а значит, и набег фаз меняются.*

Частотные сдвиги на переднем и заднем фронтах импульса вследствие ФСМ



Как это влияет на качество сигнала?

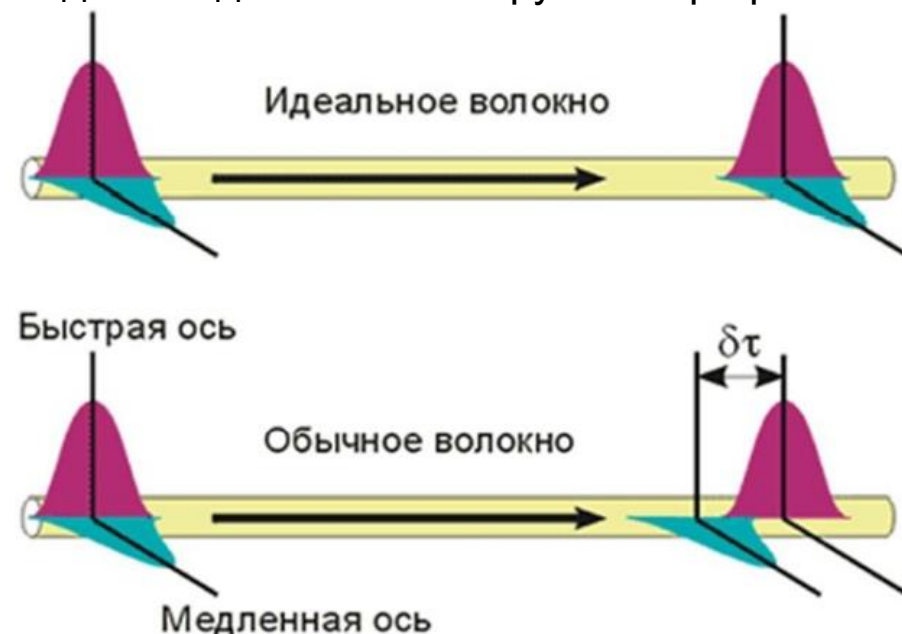
- ❖ В присутствии дисперсии этот частотный сдвиг может привести к сужению, расширению или другому искажению формы импульса.

Поляризационная модовая дисперсия (ПМД)

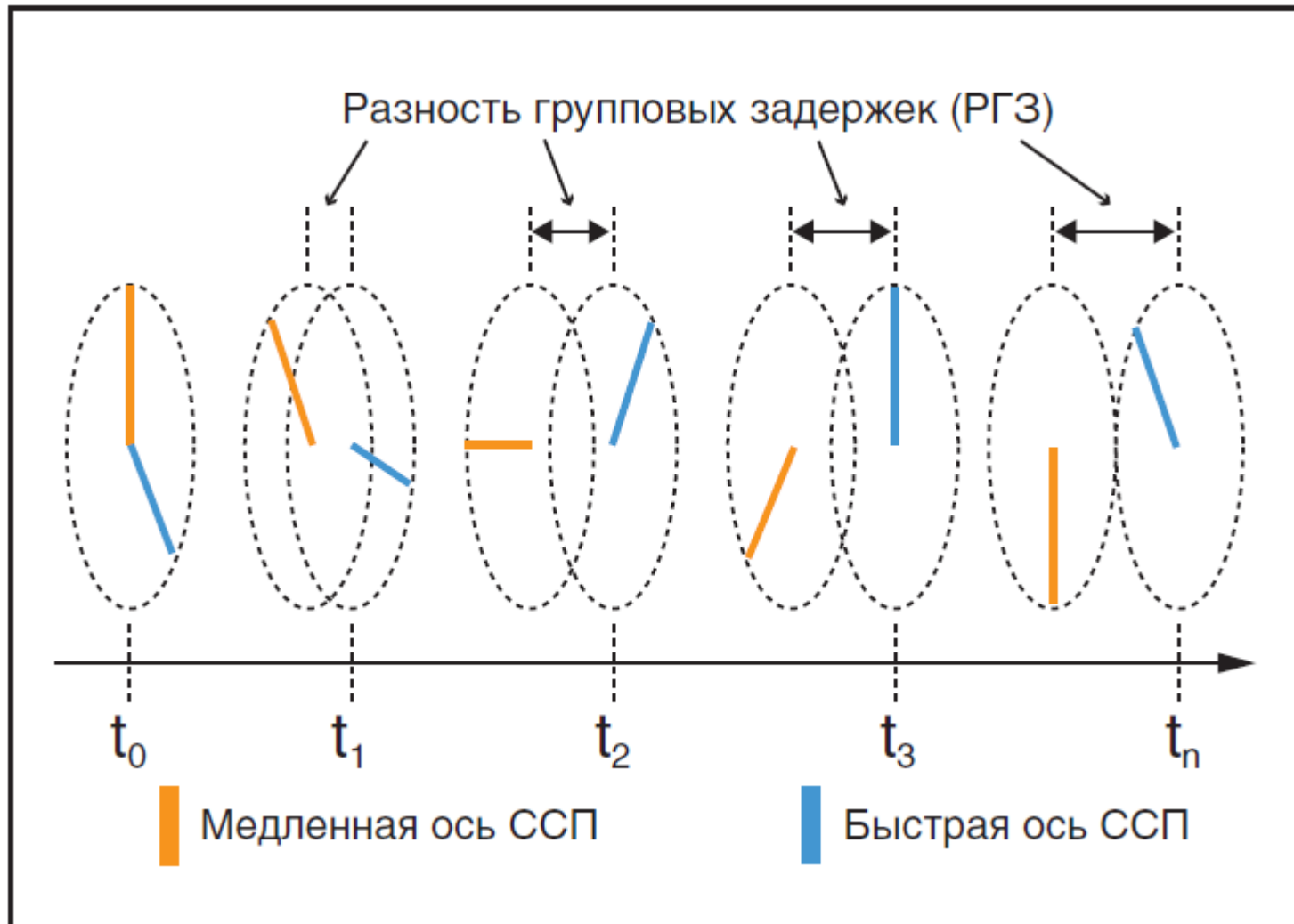
- Физика эффекта
- Как это влияет на качество сигнала?
- Почему так трудно ослаблять эффект ПМД?

Физика эффекта. Распространяющийся оптический сигнал имеет две составляющих, расположенных во взаимно ортогональных проекциях, так называемые, Эти поляризации называются собственными состояниями поляризации (ССП), поляризованные моды. Эти моды во время передачи информации двигаются вдоль «идеального» с круглым профилем волокна с одинаковой скоростью.

Реально (эллиптичность сердцевины, деформации, температура) поляризованные моды распространяться вдоль оптического волокна с разными скоростями. Различие скоростей этих мод приводит к возникновению временной задержки, которую принято называть дифференциальной групповой задержкой DGD (Differential Group Delay). Среднеквадратическое значение DGD и называют поляризационно-модовой дисперсией.



Изменение направления ССП вдоль волокна. Разность групповых задержек (РГЗ)



Как это влияет на качество сигнала?

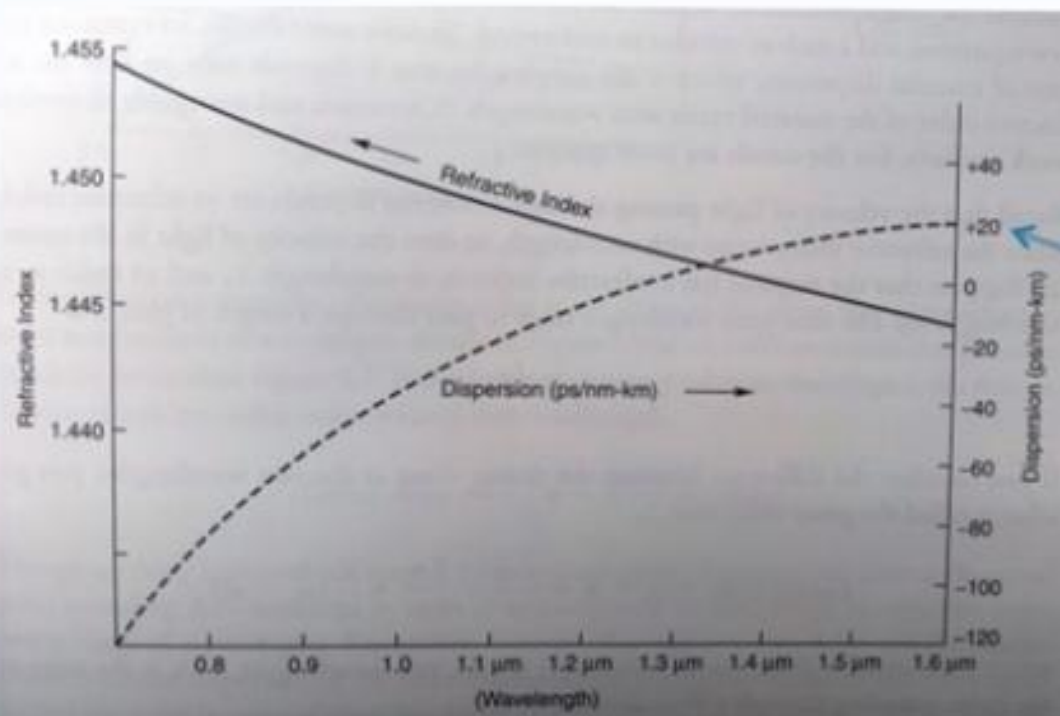
- Поляризационно-модовая дисперсия (ПМД) приводит к уширению импульса, что повышает вероятность ошибок при распознавании сигнала. ПМД – основной фактор, ограничивающий дальность передачи при высоких скоростях передачи (10 Гбит/с и выше)
 - ПМД увеличивается с увеличением длины линии.
 - Единица измерения ПМД – пс/ $\sqrt{\text{км}}$. В современных высококачественных волокнах коэффициент PMD, как правило, не превышает 0.2 пс/ $\sqrt{\text{км}}$
 - На сегодняшний день не придумали способа уменьшения ПМД в волокне, потому что условия окружающей среды (температура, вибрации), которые приводят к случайным изменениям направления ССП вдоль передающего волокна, сами случайным образом меняются со временем.

Трудно ослаблять эффект ПМД, как увеличивать скорость?

- ❖ Решение проблемы увеличения скорости нашли в использовании нового типа модуляции передаваемого сигнала. Для 100-гигабитных систем используется квадратичная фазовая манипуляция (QPSK) с двойной поляризацией (Dual Polarization, DP).
 - ✓ Эта технология использует для передачи информации две ранее не задействованных в системах оптической связи характеристики — фазу и поляризацию. Механизм DP дает возможность удвоить пропускную способность канала путем поляризационного мультиплексирования — каждая из ортогональных поляризационных мод применяется для независимой передачи информации.
Получается то, что раньше ограничивало скорость передачи информации, сейчас увеличивает ее в 2 раза. Парадокс, не правда ли?
 - ✓ При этом требования к ПМД и ХД в волокне несколько снижаются

Хроматическая дисперсия (ХД)

What is Chromatic Dispersion?



Dispersion Unit:
ps/nm-km

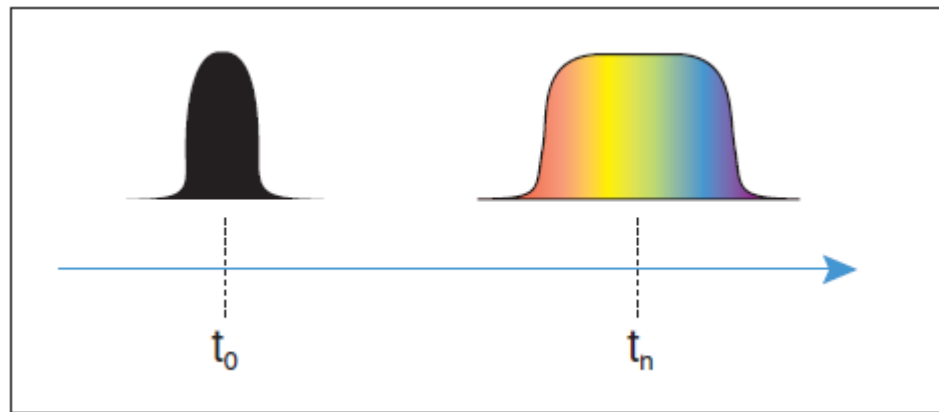
A light pulse with wavelength
1600-1601nm will be 20 ps
wider in time after 1 km fiber

Chromatic Dispersion is the
pulse spreading in time caused
by the velocity of light through
a fiber depends on its wavelength

Material dispersion and refractive index of silica as a function of wavelength

Что это такое?

- ❖ Уширение формы сигнала при его распространении в волокне из-за различия групповых скоростей его спектральных составляющих



Что вызывает хроматическую дисперсию?

- ❖ Вклад в хроматическую дисперсию вносят два механизма: материальная дисперсия и волноводная дисперсия. Дисперсия материала возникает вследствие того, что показатель преломления материала волокна (кварцевого стекла) изменяется в зависимости от длины волны оптического излучения.

Как ХД влияет на качество сигнала?

- Из-за расширения сигнала, вызванного ХД в линии, повышается вероятность возникновения ошибок.

Можно ли ее контролировать?

- ❶ Дисперсионные характеристики волокна зависят от его типа. В некоторых волокнах более короткие длины волн могут отставать от более длинных (это значит, что волокно имеет отрицательное значение дисперсии), в других волокнах все может быть наоборот. Хроматическую дисперсию можно компенсировать, добавляя в линию блок компенсации дисперсии (DCU).

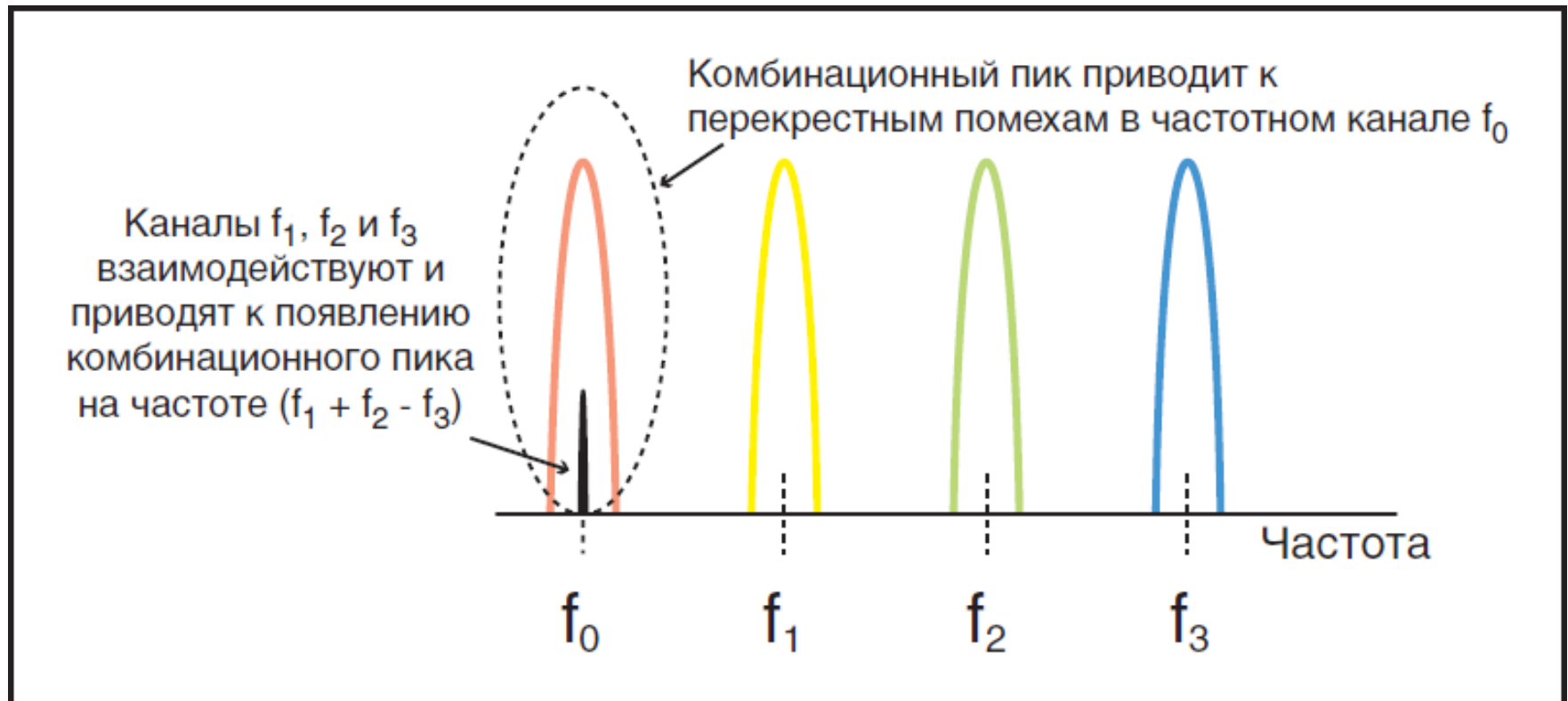
Четырехволновое смещение (ЧВС)

- В чём проявляется ЧВС?
- Что приводит к ЧВС?

В чём проявляется ЧВС?

- ❖ Взаимодействие соседних каналов в WDM-системах приводит к появлению паразитных (комбинационных) пиков, которые, в свою очередь, вызывают перекрестные помехи в соседних каналах.

Проявление эффекта ЧВС



Что приводит к ЧВС?

- ❖ При взаимодействии каналов комбинационные пики появляются на расстояниях, зависящих от частот этих каналов. При уменьшении расстояния между каналами эффект усиливается. Четырехволновое смешение также увеличивается при повышении мощности сигнала. Хроматическая дисперсия в сигнале уменьшает эффект ЧВС.

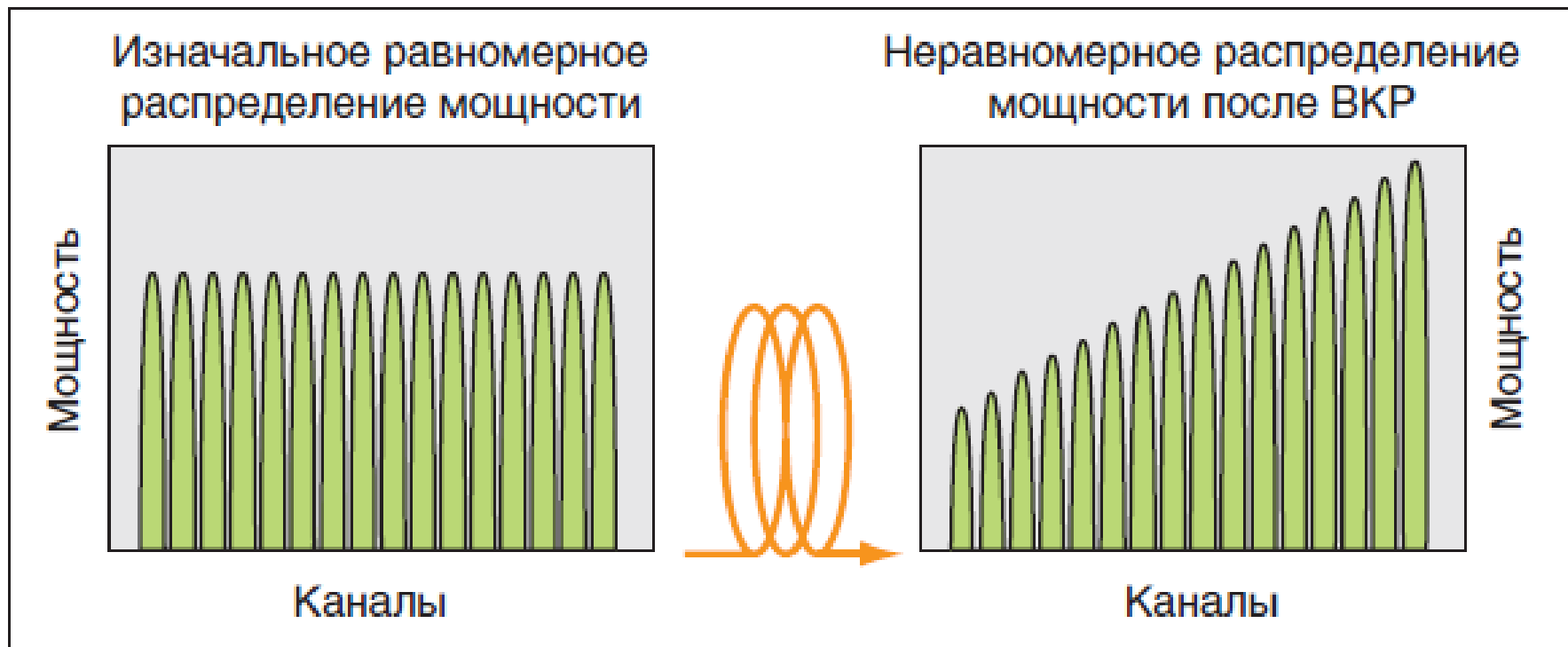
Вынужденное комбинационное (рамановское) рассеяние (ВКР)

- В чём проявляется ВКР?
- Что приводит к ВКР?
- Как ВКР влияет на качество сигнала?

В чем проявляется ВКР?

- ❖ ВКР проявляется в перекачке мощности от сигнала с меньшей длиной волны к сигналу с большей длиной волны.

Проявление эффекта ВКР



Что приводит к ВКР?

- ❖ Взаимодействие световых волн с колеблющимися молекулами кварца приводит к их рассеянию, при котором энергия перекачивается от одной волны к другой. Эффективность процесса увеличивается с ростом мощности, зависит от разности частот и достигает максимального значения при разности частот 13,2 ТГц.

Как ВКР влияет на качество сигнала?

- ВКР приводит к перекрестным помехам между каналами, и, что особенно важно, к неравномерному распределению мощности по частотному диапазону DWDM-системы: на одном конце частотного интервала (в «красной» области) каналы усиливаются больше, чем нужно, а на другом конце спектра (в «синей» области) – наоборот, быстрее «истощаются».

Фазовая кросс-модуляция (ФКМ)

- Физика процесса
- Как ФКМ влияет на качество сигнала?

Физика процесса

- Показатель преломления волокна зависит от интенсивности оптического сигнала (эффект Керра). При распространении различных каналов по одному волокну изменения показателя преломления, вызванные световой волной одного канала, могут создавать зависимые от времени фазовые сдвиги в соседних каналах.

Проявление эффекта ФКМ



Как ФКМ влияет на качество сигнала?

- Эффект ФКМ похож на эффект фазовой самомодуляции. При наличии дисперсии частотные сдвиги могут приводить к уширению или другому искажению импульса.

Распространенные типы одномодовых волокон

- Стандартное одномодовое волокно (SSMF)
- Волокно со смещённой дисперсией (DSF)
- Волокно с ненулевой смещённой дисперсией (NZ – DSF)

1. волокна с нулевой дисперсией (стандартные волокна SSF) – рек. МСЭ-Т G.652;
2. волокна со смещенной дисперсией (DSF) – рек. МСЭ-Т G.653;
3. волокна с минимизацией потерь на длине волны 1550 нм (Low Loss) – рек. МСЭ-Т G.654;
4. волокна с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF) – рек. МСЭ-Т G.655.

Стандартное одномодовое волокно

SSMF – standard single-mode fiber

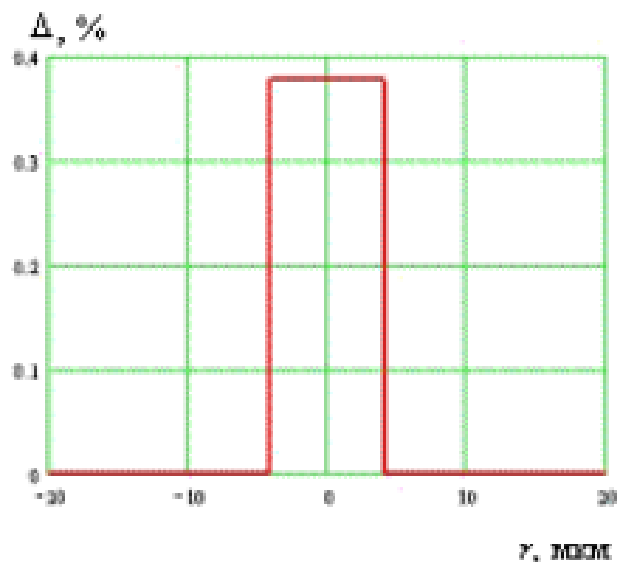
● Особенности

- ITU-T G.652, обладает нулевой дисперсией в области 1310 нм (второе окно прозрачности), коэффициент затухания не превышает 0,35 дБ/км, а коэффициент хроматической дисперсии D составляет менее 3,5 пс/(нм.км)
- Для DWDM-систем (1550 нм, третье окно прозрачности) оно обладает значительным уровнем дисперсии не более 17 пс/(нм.км) и *требует включения в тракт компенсаторов дисперсии.*

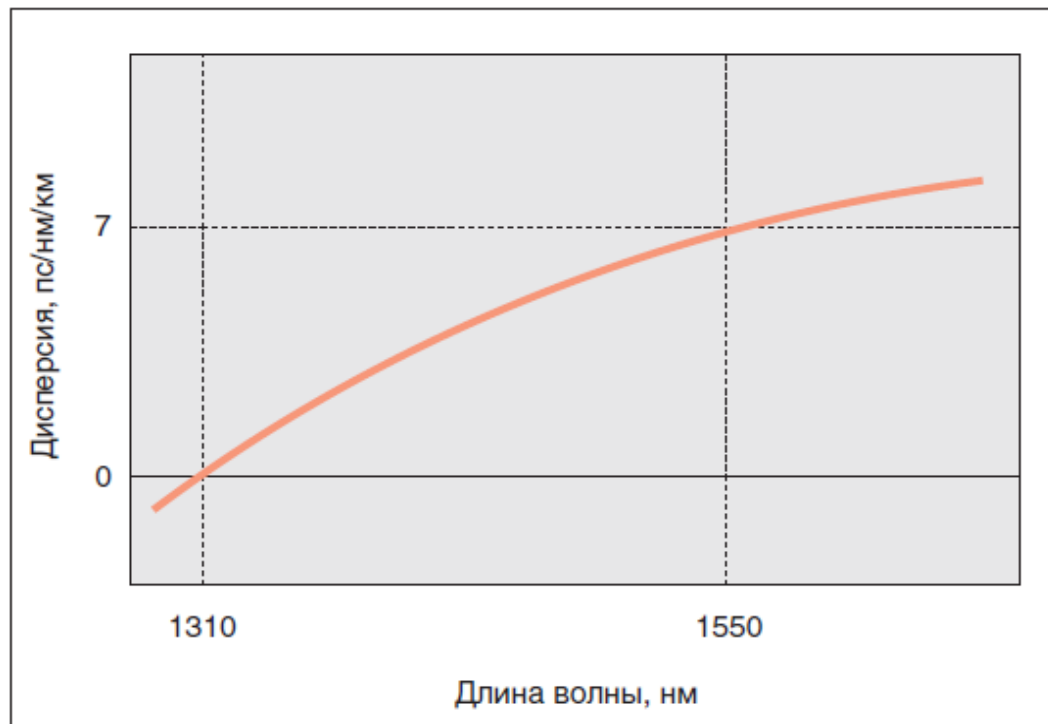
● Сколько SSMF введено в эксплуатацию?

SSMF составляет более одной трети всего эксплуатирующегося в США волокна для наземных систем дальней связи. Сегодня в общем объеме прокладываемого во всем мире волокна доля SSMF превышает 90%.

Дисперсионная кривая для SSMF

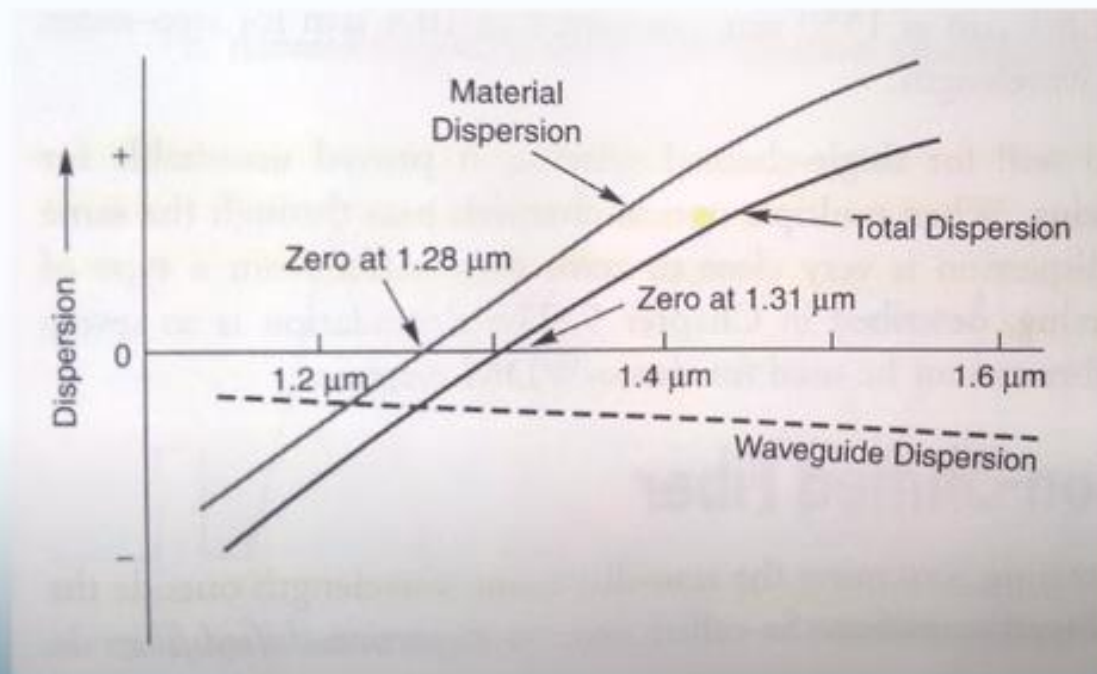


Типовой ступенчатый профиль показателя преломления SSF/SSMF



Дисперсионная кривая SSF/SSMF.

Chromatic Dispersion of Standard Single Mode Fiber (ITU-T G.652) – Corning SMF-28e+



1. Material Dispersion:
Determined by the material
(Non-Adjustable)
2. Waveguide Dispersion
Determined by the waveguide design
(Adjustable)

Standard Single Mode Fiber
Zero Dispersion @ 1310nm

Chromatic Dispersion = Material Dispersion + Waveguide Dispersion

Волокно со смещенной дисперсией (DSF – dispersion shifted fiber)

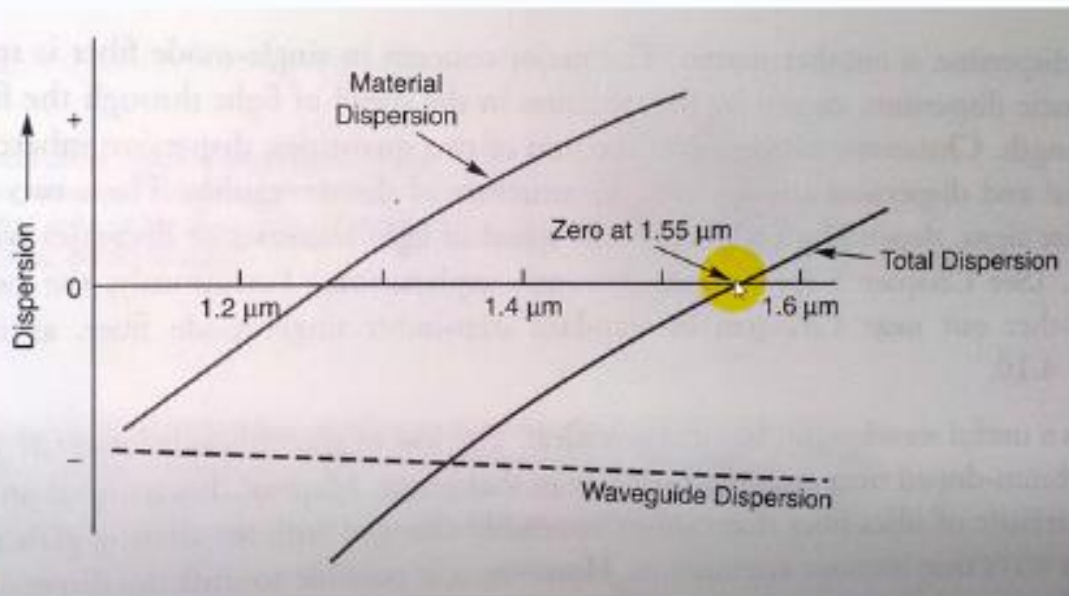
- Особенности
- Сколько DCF введено в эксплуатацию?

Особенности

- DSF было разработано с целью оптимизации волоконных систем дальней связи. Уровень нулевой дисперсии DSF смещен с длины волны 1310 нм в область наименьших потерь для кварцевого волокна — 1550 нм.
- Поэтому иногда обозначают такой тип волокна
 - Волокно с нулевой смещенной смещённой дисперсией
 - Zero Dispersion-Shifted Fibers (Z-DSF)

Zero Dispersion-Shifted Fibers

Zero Dispersion-Shifted Fibers



Zero Dispersion-Shifted Fiber

Also called ITU-T G.653 Fibers

Zero Dispersion@1550nm

- Invented in mid-1980s
- Never came into wide use
- No longer manufactured

Сколько DSF введено в эксплуатацию?

- ❖ DSF составляет небольшую часть используемого в США волокна и более не вводится в эксплуатацию. В больших количествах DSF проложено в Японии, Италии и Мексике.

Волокно с ненулевой смещенной дисперсией

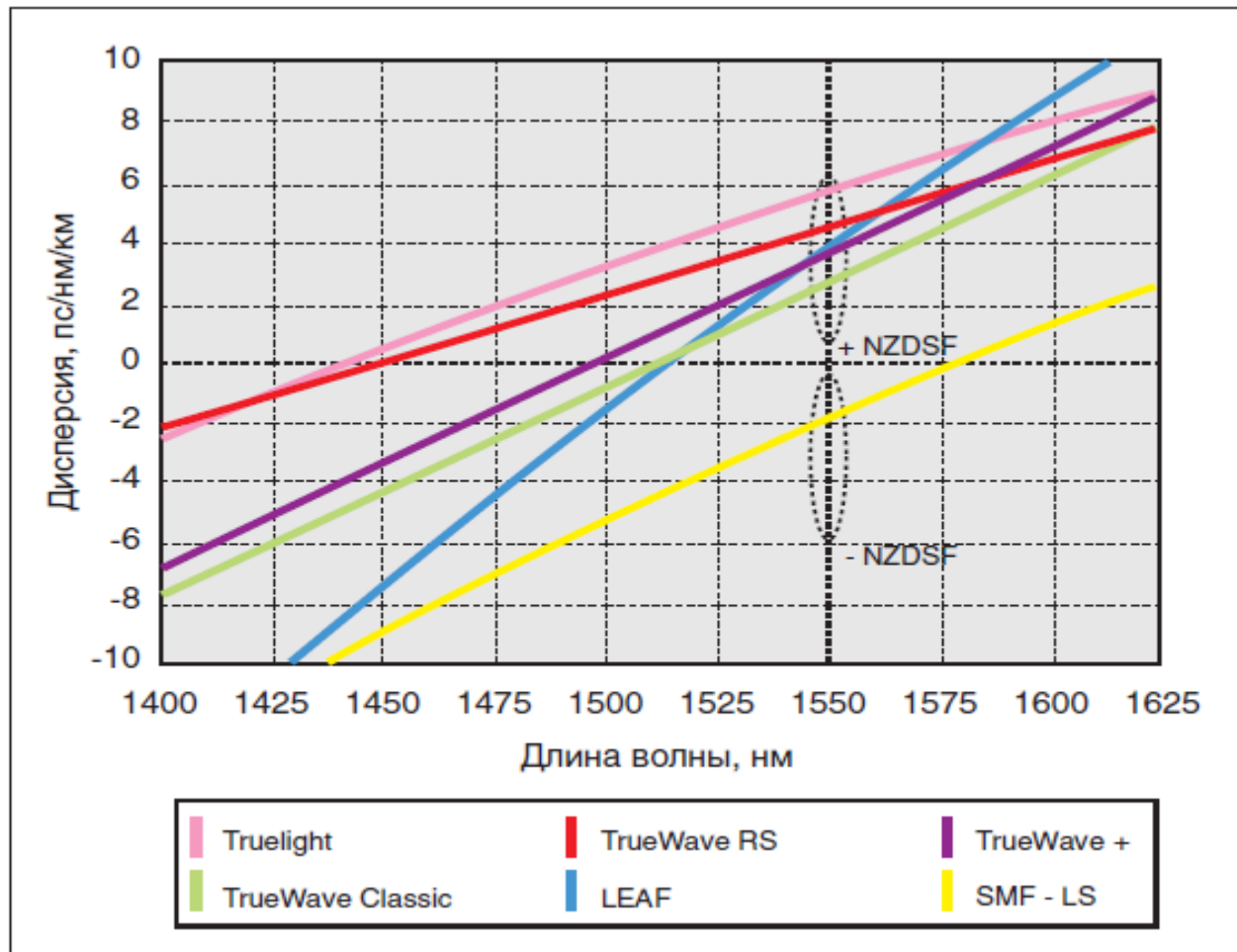
(NZ-DSF – Non-Zero Dispersion Shifted Fiber)

- Особенности
- Сколько NZ-DSF введено в эксплуатацию?

Особенности

- ❖ После неудачи с DSF стало очевидно, что некоторое ненулевое значение хроматической дисперсии необходимо для ослабления нелинейных эффектов, таких, как четырехволновое смешение и др.

Дисперсионные кривые для NZ-DSF

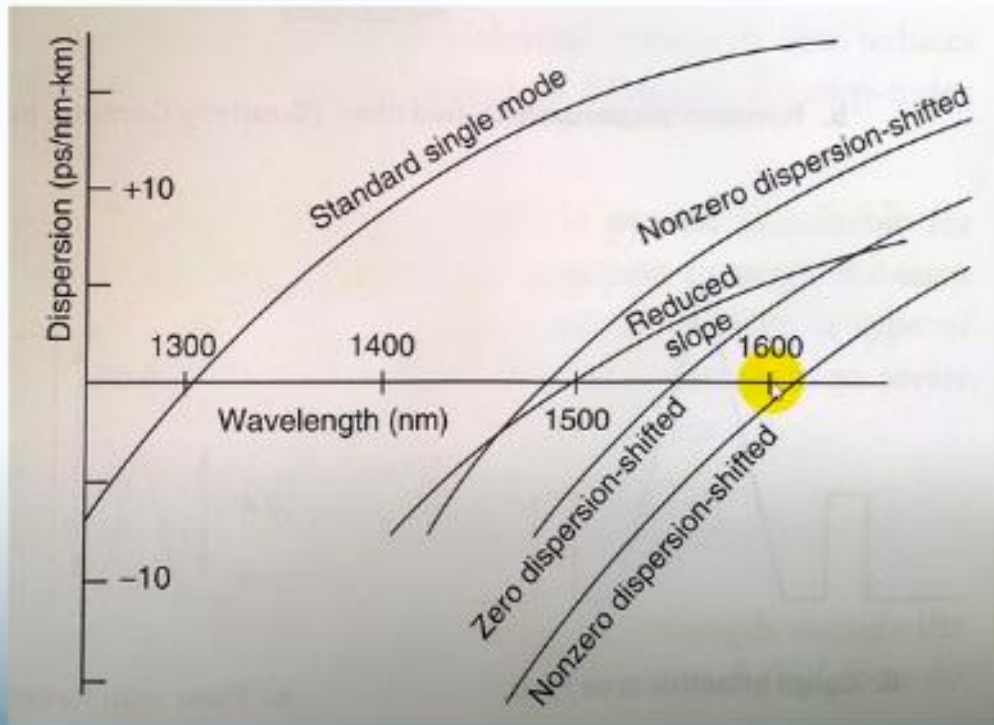


Сколько NZ-DSF введено в эксплуатацию?

- ❖ Впервые появившееся в 1996 году, NZ-DSF сегодня составляет около 60% волокна для систем дальней связи в США. Его популярность в США достаточно высока, но в общем объеме выпускаемого во всем мире волокна его доля сокращается.

NZ-DSF vs Z-DSF vs SMF

Nonzero Dispersion-Shifted Fibers



Also called ITU-T G.655 Fibers

Current Favorite:

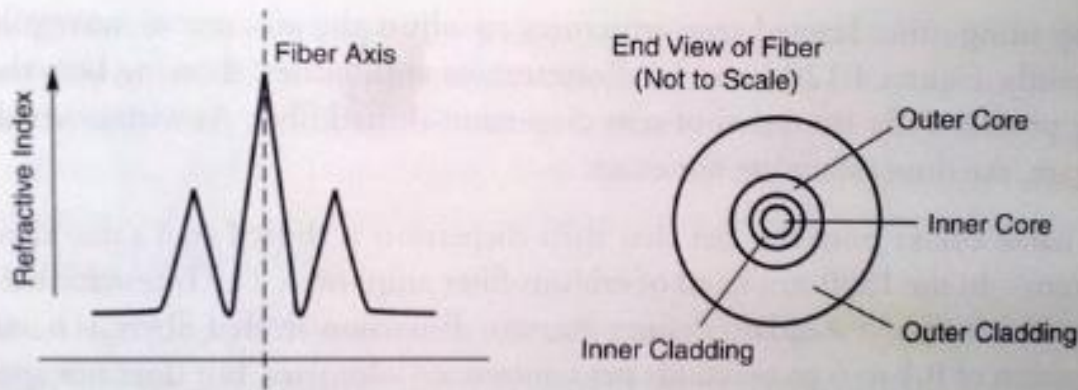
Zero dispersion at 1500nm or less

Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber



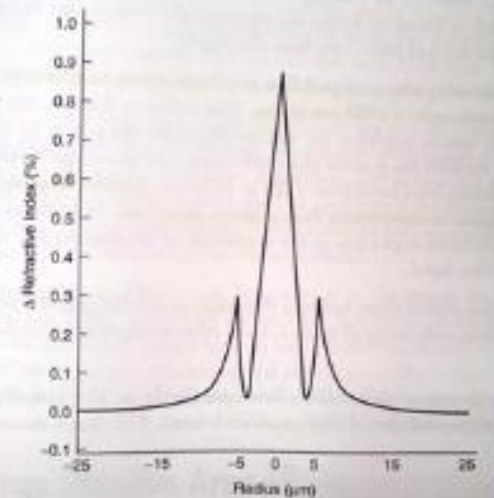
Fiber Optics For Sale Co.

Fiber Refractive Index Profile



a. Zero dispersion-shifted fiber.

Zero Dispersion-Shifted Fiber



b. Nonzero dispersion-shifted fiber. (Courtesy Corning, Inc.)

Nonzero Dispersion-Shifted Fiber



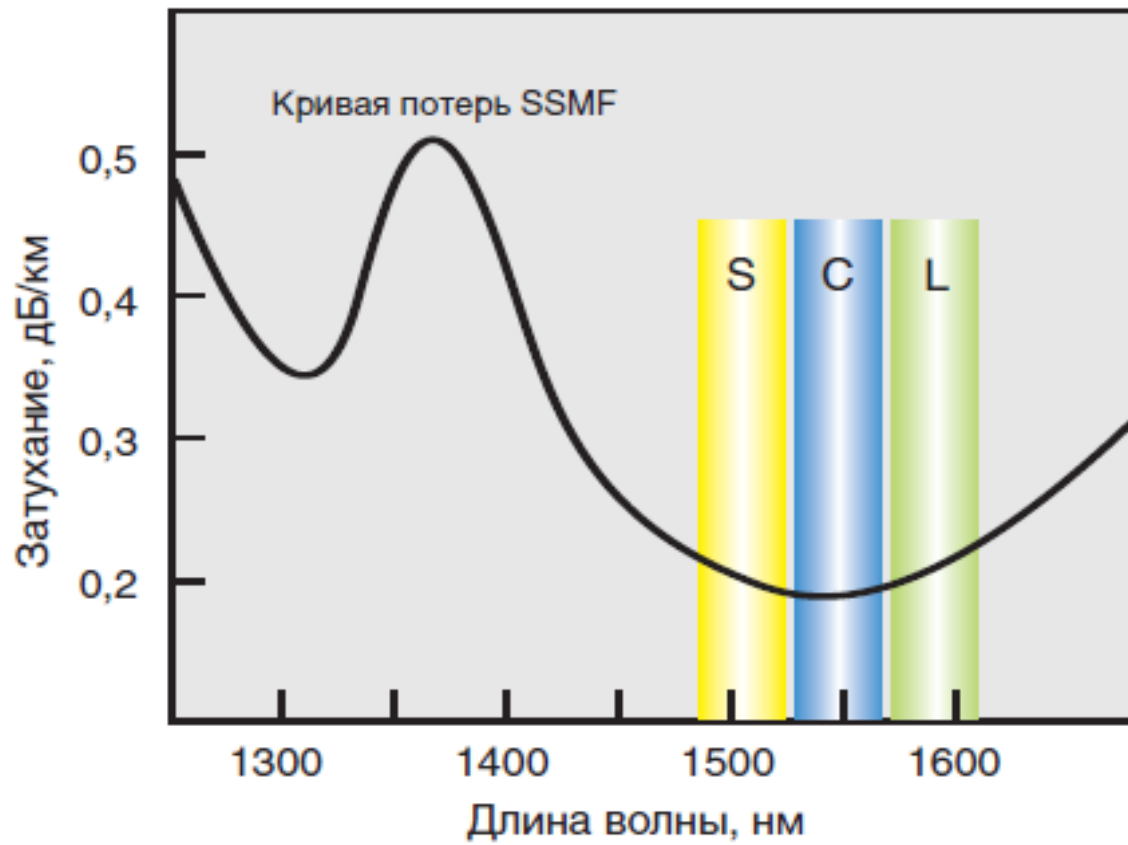
Fiber Optics For Sale Co.

Спектральные области в DWDM системах

- Области спектра вблизи третьего окна прозрачности кварцевого волокна (1550 нм) разбиты на три спектральных диапазона: S-область (1485–1520 нм), C-область (1530–1562 нм) и L-область (1570–1610 нм).



Спектральные области в DWDM системах



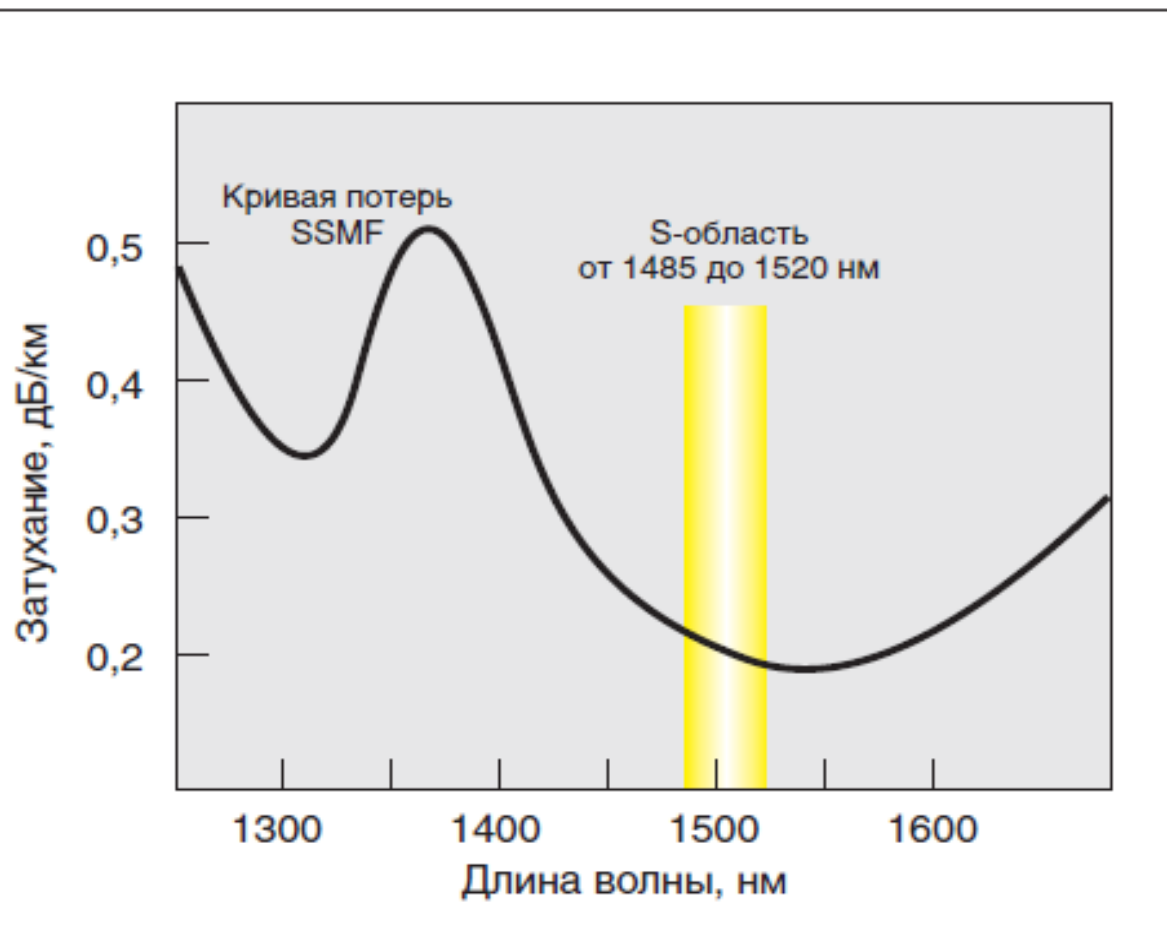
Области спектра вблизи третьего окна прозрачности кварцевого волокна (1550 нм) разбиты на три спектральных диапазона: S-область (1485–1520 нм), C-область (1530–1562 нм) и L-область (1570–1610 нм).

[S – область](#)

[C - область](#)

[L – область](#)

S-область



• S-область – это коротковолновая (S – short, «короткая») область DWDM-передачи, занимающая интервал от 1485 до 1520 нм. При добавлении «S+» области это спектральное окно можно расширить в область < 1485 нм.

Преимущества:

- низкая восприимчивость к потерям из-за микроизгибов волокна.
- самая низкая дисперсия для волокна SSMF

Пропускная способность

S-область (Определение)

● S-область Определение

- Коротковолновая (S – short, «короткая») область DWDM-передачи, занимающая интервал от 1485 до 1520 нм.
- При добавлении «S+» области это спектральное окно можно расширить в область < 1485 нм.

● Преимущества

- Низкая восприимчивость к потерям из-за микроизгибов волокна.
- Самая низкая дисперсия для волокна SSMF

● Пропускная способность

- S-область имеет спектральную ширину, близкую по размерам к C-области, и, соответственно, сравнимую пропускную способность

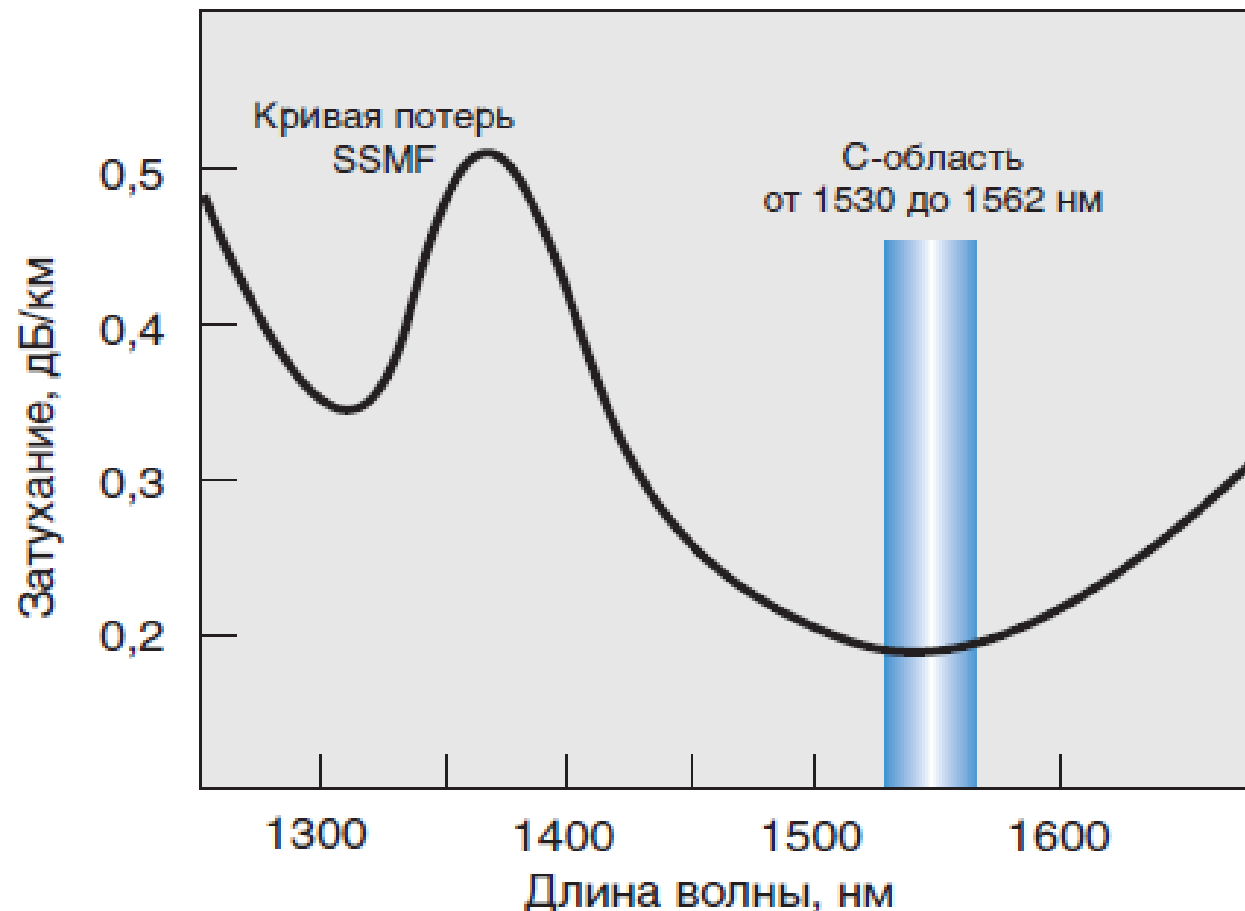
Преимущества S-области

- ❖ Низкая восприимчивость к потерям из-за микроизгибов волокна. Самая низкая дисперсия для волокна SSMF.

Пропускная способность S-области

- ❖ S-область имеет спектральную ширину, близкую по размерам к C-области, и, соответственно, сравнимую пропускную способность.

С-область

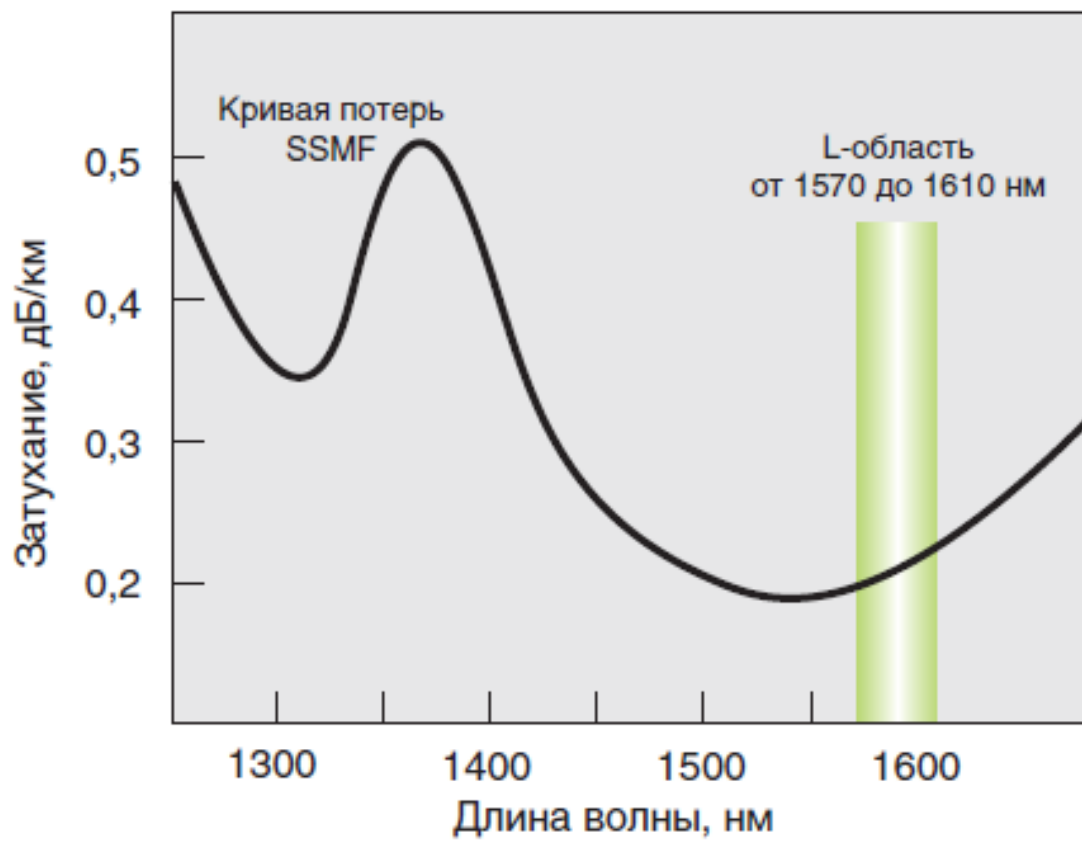


С-область – это центральная и традиционная (C – conventional) область DWDM-передачи, занимающая интервал от 1530 до 1562 нм. Все DWDM-системы, введенные в эксплуатацию до 2000 года, работали в С-области.

C – область (Определение)

- C-область – это центральная и традиционная (C – conventional) область DWDM-передачи, занимающая интервал от 1530 до 1562 нм. Все DWDM-системы, введенные в эксплуатацию до 2000 года, работали в C-области.
- Преимущества
 - Самые маленькие потери для SSMF волокна.
 - Низкая восприимчивость к потерям из-за микроизгибов волокна.
 - Эрбиевые усилители работают в C-области.
- Пропускная способность
 - В соответствии со стандартами ITU определены следующие частотные интервалы между каналами: 50 ГГц, 100 ГГц, 200 ГГц. Количество каналов для C-области в реальных DWDM-системах составляет от 16 до 96.

L-область



L-область – это длинноволновая (L – long, «длинная») область DWDM передачи, занимающая интервал от 1570 до 1610 нм.

L-область (Определение)

- **L-область** – это длинноволновая (L – long, «длинная») область DWDM передачи, занимающая интервал от 1570 до 1610 нм.
- **Преимущества**
 - EDFA могут работать в L-области
- **Пропускная способность**
 - L-область имеет спектральную ширину, близкую по размерам к C-области, и, соответственно, сравнимую пропускную способность.

Литература

1. <http://63.120.210.50/solutions/tutorials.cfm>,
2. Наний О.Е. Основы технологии спектрального мультиплексирования каналов передачи // *Lightwave Russian Edition*, 2004, № 2, с. 47.
3. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика. М.: Мир, 1996.
4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконнооптические сети. М.: ЭКОТРЕНДЗ, 2000.
5. Жирар А. Руководство по технологии и тестированию систем WDM / Пер. с англ. под ред. А.М. Бродниковского, Р.Р. Убайдуллаева, А.В. Шмалько. Общая редакция А.В. Шмалько. – М.: EXFO, 2001.

Литература

6. Убайдуллаев Р.Р. Протяженные ВОЛС на основе EDFA // *Lightwave Russian Edition*, 2003, № 1, с. 22.
7. Гладышевский М.М., Щербаткин Д.Д. Поляризационная модовая дисперсия в оптическом волокне // *Lightwave Russian Edition*, 2005, № 1, с. 48
8. Гладышевский М.М., Щербаткин Д.Д. Чем опасна поляризационная модовая дисперсия? // *Lightwave Russian Edition*, 2004, № 4, с. 33.
9. Гладышевский М.М., Щербаткин Д.Д. Из мерения ПМД в России // *Lightwave Russian Edition*, 2005, № 1, с. 38.
10. Бродский М. и др. Шарнирносекционная модель ПМД // *Lightwave Russian Edition*, 2005, № 1, с. 24.

Литература

11. Оде Фрэнсис. ПМД, ее источники и измерение в полевых условиях // *Lightwave Russian Edition*, 2004, № 2, с. 38.
12. Наний О.Е. Методы компенсации хроматической дисперсии. В сб.: *Волоконная оптика*, с. 52.
13. Гладышевский М.А. и др. Измерение дисперсии. В сб.: *Волоконная оптика*, с. 82.
14. ITUT Rec. G.694.1, Study Group 15, «Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid», Juny, 2002.
15. Курков А.С., Наний О.Е. Эрбиевые волоконнооптические усилители // *Lightwave Russian Edition*, 2003, № 1, с. 14.
16. <https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/wave-optics/>
17. http://www.laserportal.ru/content_42
18. <https://fibertop.ru/article.htm/>