

7. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ СИСТЕМ WDM

7.1. Общее описание систем WDM

Системы спектрального уплотнения (WDM – Wavelength Division Multiplexing) основаны на способности оптического волокна передавать оптическое излучение различных длин волн без взаимной интерференции. Каждая длина волны представляет собой отдельный оптический канал в волокне.

Сигналы разных длин волн, возбуждаемые одним или несколькими оптическими передатчиками, объединяются оптическим мультиплексором в многоканальный составной оптический сигнал, который далее распространяется по оптическому волокну.

При больших расстояниях передачи устанавливают один или несколько оптических усилителей.

Демультимплексор принимает групповой сигнал, выделяет из него исходные каналы разных длин волн и направляет их на соответствующие фотоприемники.

На промежуточных узлах некоторые каналы могут быть добавлены или выделены из составного сигнала посредством мультиплексоров ввода/вывода (OADM – Optical Add/Drop Multiplexer) или устройств кросс-коммутиации.

В общем случае система WDM состоит:

- из одного или нескольких лазерных передатчиков;
- мультиплексора (MUX - Multiplexer);
- при необходимости – одного или нескольких оптических усилителей (OA – Optical Amplifier);
- мультиплексоров OADM;
- оптического волокна (ОВ);
- демультиплексора (DEMUX - Demultiplexer);
- соответствующего числа фотоприемников;
- электронного оборудования, которое обрабатывает передаваемые данные в соответствии с используемыми протоколами связи;
- системы сетевого управления.

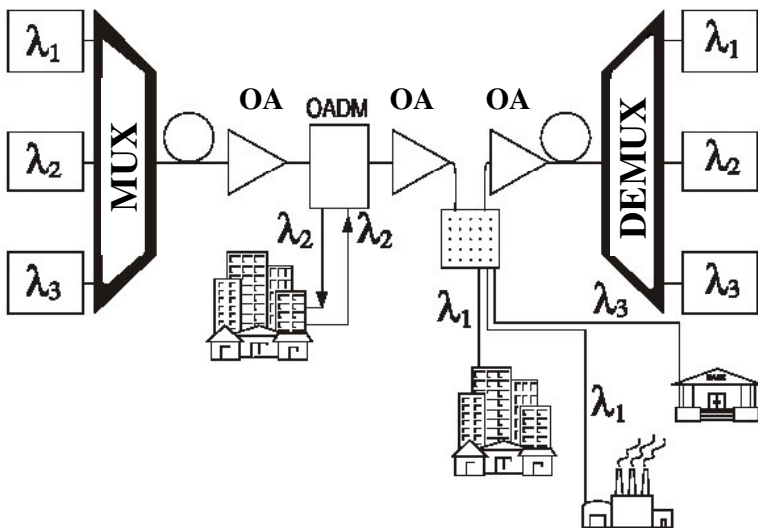


Рисунок 7.1. Типовая структурная схема системы WDM с возможностями добавления/выделения и кросс-коммутации каналов.

WDM – Wideband Wavelength Division Multiplexing – разнесенное спектральное уплотнение (2 канала: 850 нм и 1300 нм на многомодовых волокнах, 1310 нм и 1550 нм на одномодовых волокнах, системы PDH).

CWDM, NWDM – Coarse Wavelength Division Multiplexing – однополосное спектральное уплотнение (2...8 оптических каналов: область 1550 нм, полоса 200...400 ГГц на 1 канал, системы SDH).

DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing – плотное спектральное уплотнение (до 64 оптических каналов с разнесением в 100...200 ГГц).

HDWDM – High Dense Wavelength Division Multiplexing – сверхплотное спектральное уплотнение (до 160 оптических каналов с разделением на 25...50 ГГц).

Скорость передачи группового сигнала:

$$V_{ГР} = N \cdot V_K, \text{ Гбит/с}$$

N – число оптических несущих;

V_K – скорость передачи в одном канале, Гбит/с.

O	Original (основной)	1260...1360 нм
E	Extended (расширенный)	1360...1460 нм
S	Short wavelength (коротковолновый)	1460...1530 нм
C	Conventional (стандартный)	1530...1565 нм
L	Long wavelength (длинноволновый)	1565...1625 нм
U	Ultra-long wavelength (сверхдлинный)	1625...1675 нм

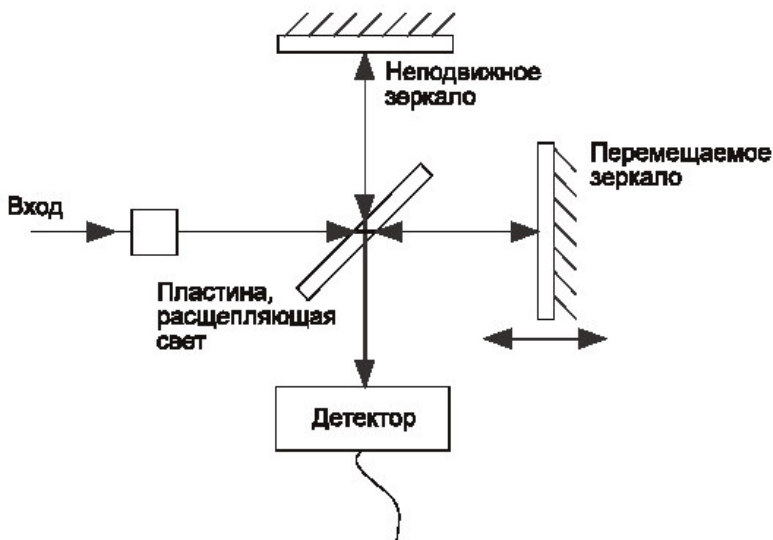
7.2. Анализаторы оптического спектра (OSA)

Анализаторы оптического спектра (**OSA** – Optical Spectrum Analyzers) являются одним из основных средств измерений параметров систем WDM. Они применяются как в процессе строительства, так и эксплуатации систем WDM, паспортизации компонентов, а также при апгрейде существующих ВОЛП под технологию WDM.

Наиболее широко используются следующие три метода выделения длин волн, реализованных в OSA.

Интерферометрический метод

В основе данного метода лежит интерференция двух пучков входного оптического излучения.



Интерферометрический метод

Эти пучки проходят по разным оптическим плечам интерферометра Майкельсона (фиксированной и переменной длины), перемещение зеркала в опорном плече интерферометра приводит к изменению картины интерференции.

Попадая далее на фотодетектор, свет преобразуется в электрический сигнал, анализ которого с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) позволяет получить спектр исходного сигнала.

Результирующий сигнал на фотодетекторе изменяется синусоидально для входного монохроматического потока оптического излучения, для сигнала с несколькими длинами волн – по более сложному закону.

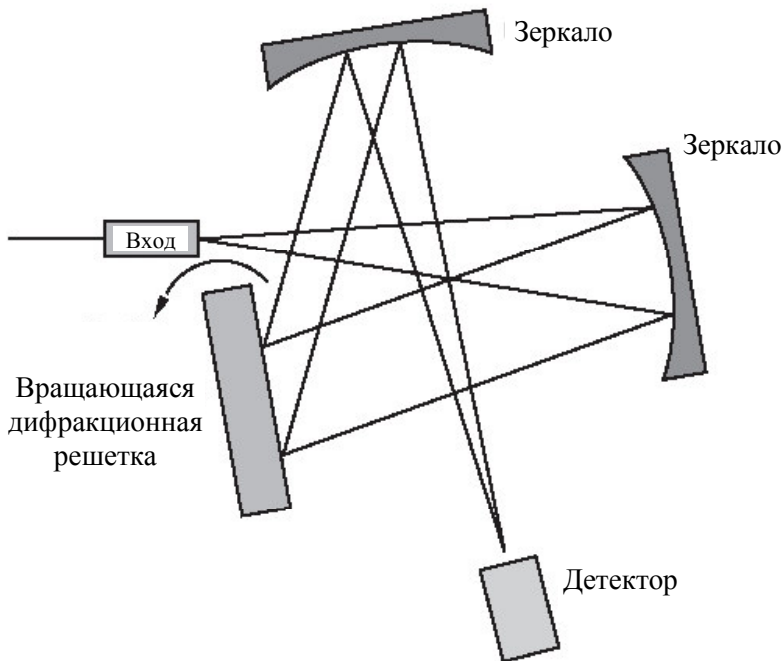
Достоинством данного метода являются широкополосность, точность и стабильность (обычно используются HeNe лазеры).

Также достаточно высокий динамический диапазон и OSNR, тем не менее, уступающий OSA на основе дифракционной решетки.

Наличие подвижного зеркала позволяет использовать OSA данного типа в классе системного оборудования, и существенно ограничивает его применение в полевых условиях.

Также интерферометрический метод является наиболее дорогостоящим, по сравнению с остальными.

OSA на основе дифракционной решетки



OSA на основе дифракционной решетки

В основе данного метода лежит применение дифракционной решетки, отражающей лучи света под разными углами в зависимости от длины волны.

При повороте решетки происходит сканирование всех длин волн, присутствующих в спектре входного сигнала.

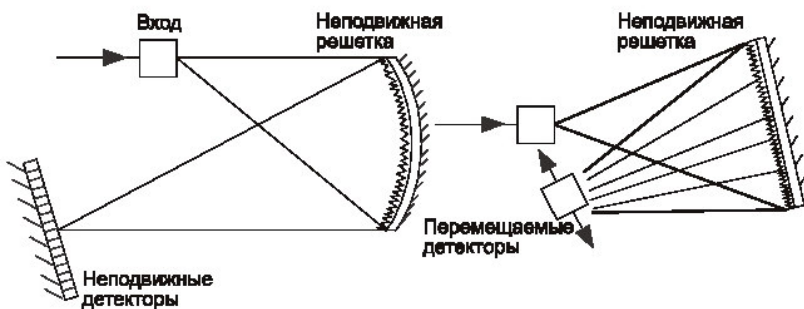
Такая система также может называться монохроматором.

Для увеличения разрешающей способности OSA используется двойной проход потока оптического излучения через систему зеркал и дифракционной решетки (свет дважды отражается от решетки).

Двойной проход, по сравнению с одним отражением, обеспечивает также более высокий динамический диапазон и точность.

Другой вариант данного метода отличается наличием закрепленной решетки.

Отраженные дифракционной решеткой спектральные составляющие входного потока оптического излучения распределяются по линейке отдельных фотодетекторов (или попадают на одиночный перемещаемый фотодетектор).



OSA на основе неподвижной дифракционной решетки

К достоинствам метода на основе дифракционной решетки относятся:

- широкополосность;
- высокий динамический диапазон и OSNR;
- высокое разрешение.

Современный уровень производства позволяет изготавливать решетки со спектральным разрешением достаточным для тестирования систем WDM.

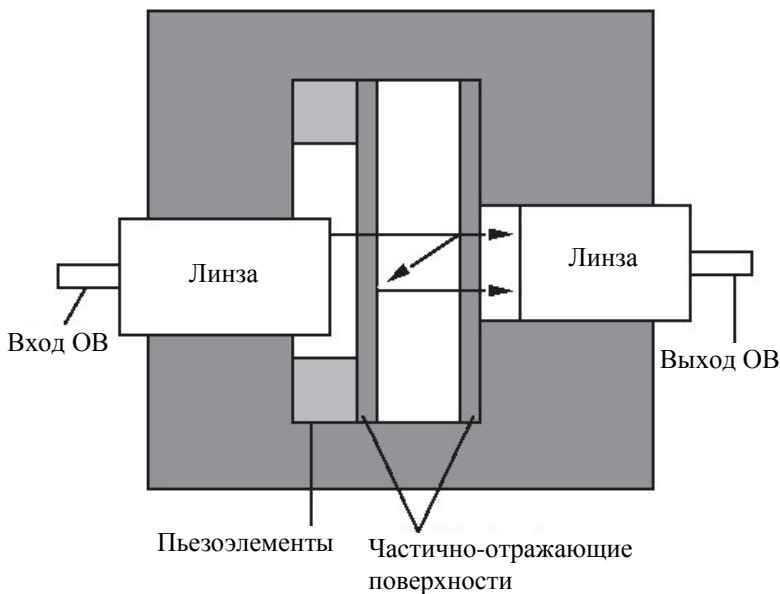
В тоже время абсолютная точность измерений является слабым местом таких OSA: калибровка абсолютной длины волны зависит от положения множества механических компонентов – в частности углового положения решетки – поэтому трудно гарантировать стабильные результаты.

Наличие подвижной дифракционной решетки позволяет использовать OSA данного типа в классе системного оборудования, и существенно ограничивает его применение в полевых условиях.

Метод Фабри-Перо (Fabry-Perot)

Метод Фабри-Перо основан на применении поверхностного резонатора, образованного с помощью двух параллельных отражающих пластин (половина мощности потока излучения пропускается, половина – отражается), установленных на заданном расстоянии с помощью пьезоэлементов.

Избирательность непосредственно определяется полосой пропускания фильтра Фабри-Перо: длина волны, на которую настроен резонатор, подается на детектор, остальные спектральные составляющие подавляются.



OSA на основе Фабри-Перо

Данный метод обеспечивает высокую точность, однако ограничен по динамическому диапазону/OSNR, связанным непосредственно с широкополосностью прибора.

Чем больше широкополосность, тем ниже динамический диапазон.

Узкая полоса пропускания позволяет анализировать каналы с малым интервалом (менее 12,5 ГГц), даже при существенных искажениях.

Отсутствие подвижных частей, чувствительных к вибрациям и механическим воздействиям, позволяет использовать OSA данного типа как в полевых условиях, так и для мониторинга систем WDM.

Кроме того, в OSA Фабри-Перо не используются открытые схемы геометрической оптики. В результате OSA данного типа отличаются малым весом и портативностью, а низкие требования к мощности источников электропитания позволяют обеспечить работу прибора от аккумуляторной батареи.

7.3. Основные характеристики OSA:

- **Динамический диапазон** – определяет возможность измерения амплитуд сигналов в широком спектральном диапазоне. Большой динамический диапазон может потребоваться, например, при исследовании полосы пропускания оптического канала, когда могут быть важны аномальные характеристики боковой полосы, уровень мощности которой ниже уровня основного сигнала более чем на 50 дБ.
- **Чувствительность** – способность измерять оптические сигналы малой интенсивности.

- ***Разрешающая способность по полосе пропускания RBW (Resolution BandWidth)*** – возможность различения близко расположенных длин волн, которая необходима для исследования спектральной структуры каналов систем WDM. RBW играет большую роль с увеличением числа используемых каналов в прежнем спектральном диапазоне длин волн.

- ***Точность*** – возможность точно и правильно измерять длины волн и мощность.