

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

В.А. БУРДИН, В.С. БАСКАКОВ, А.В. БУРДИН, К.А. ВОЛКОВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ
СИСТЕМЫ WDM**

Методическая разработка к практическому занятию

Самара
2017

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,
протокол № 34 от 17.02.2017 г.

Рецензент:

к.т.н., профессор каф. СС Иванов В.И.

В.А. Бурдин, В.С. Баскаков, А.В. Бурдин, К.А. Волков

Определение параметров передачи системы WDM
методическая разработка к практическому занятию/ **В.А. Бурдин, В.С. Баскаков, А.В. Бурдин, К.А. Волков.** – Самара: ПГУТИ, 2017. – 20 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал, посвященный изучению теоретических основ метода обратного рассеяния и получению практических навыков анализа рефлектограмм.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 11.03.01 Радиотехника, 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем, 11.03.01 Информационная безопасность, 27.03.04 Управление в технических системах, 27.03.05 Инноватика, 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.02 Информационные системы и технологии и предназначены для проведения лабораторных занятий.

© В.А. Бурдин, 2017

© В.С. Баскаков, 2017

© А.В. Бурдин, 2017

© К.А. Волков, 2017

1. Цель работы

Приобретение практических навыков определения основных параметров системы WDM по спектральной характеристике, полученной с помощью оптического анализатора спектра на выходе оптического демультиплексора.

2. Литература

2.1. Жирар А. Руководство по технологии и тестированию систем WDM. - М.: EXFO, 2001. / пер. с англ. под. ред. А.М. Бродниковского, Р.Р. Убайдуллаева, А.В. Шмалько. / Общая редакция А.В. Шмалько

2.2. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. М.: САЙРУС СИСТЕМС, 1999. - 671с.

2.3. Бурдин В. А. Основы моделирования кусочно-регулярных волоконно-оптических линий передачи сетей связи. - М.: Радио и связь, 2002. - 312 с.

2.4. Алексеев Е.Б. Стандартизация параметров ВОСП // Lightwave Russian Edition. - №2, 2003. - стр. 43 - 47.

2.5. Алексеев Е.Б. Стандартизация параметров и перспективы внедрения ВОЛП со спектральным разделением каналов // Метрология и измерительная техника в связи. - 2002, №1.

2.6. DWDM Performance and Conformance Testing Primer / Tektronix. - 2001. - 62 p.

2.7. G. Farrell. Testing Dense Wavelength Multiplexed Systems / PX Instrument Technology. - 9 p.

2.8. Dense Wavelength Division Multiplexed (DWDM) Testing / Exfo, The International Engineering Consortium. - 19 p.

3. Контрольные вопросы

3.1. Структурная схема системы WDM. Основные компоненты.

3.2. Чем отличается измерение длины волны спектрального максимума и центральной длины волны канала системы WDM?

3.3. Как определяется интервал между каналами? В чем отличие равномерных и неравномерных интервалов между каналами?

3.4. Порядок измерения полосы пропускания по заданному уровню.

3.5. Мощность оптического излучения в канале, суммарная мощность и максимум различия мощности в каналах: определение, порядок измерения, нормируемые значения.

3.6. Дайте определение OSNR.

3.7. Что включает в себя понятие изоляция канала?

3.8. Как определяются и чем отличаются друг от друга переходные помехи и перекрестные помехи на дальнем конце?

4. 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 кросскоммутации (рис 4.1) [2.1 - 2.3].

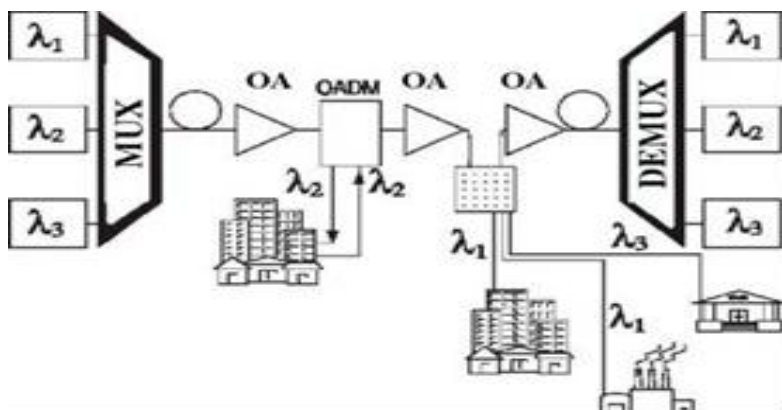


Рисунок 4.1. Типовая структурная схема системы WDM с возможностями добавления/выделения и кросс-коммутации каналов.

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, демультимплексора (DEMUX - Demultiplexer) и соответствующего числа

фотоприемников, а также электронного оборудования, которое обрабатывает передаваемые данные в соответствии с используемыми протоколами связи, и системы сетевого управления.

5. Основные параметры систем WDM.

5.1 Длина волны спектрального максимума.

Длина волны спектрального максимума $\lambda_{max,n}$ - это длина волны, на которой достигается максимальный уровень мощности сигнала в спектральном диапазоне исследуемого канала n (рис. 5.1).

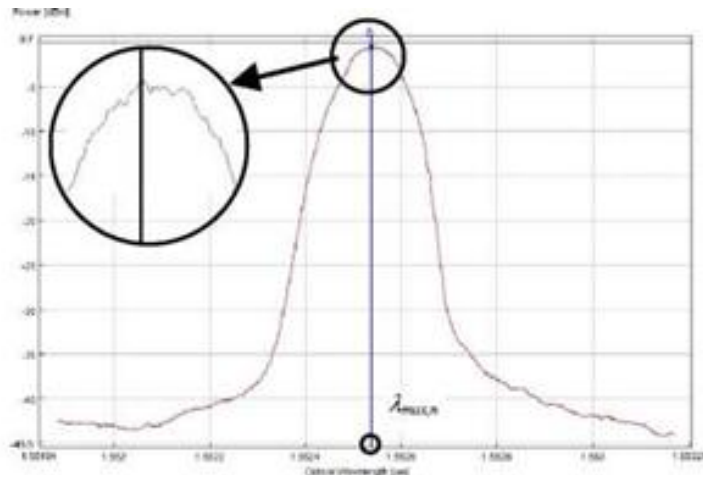


Рисунок 5.1. К оценке длины волны спектрального максимума.

5.2 Центральная длина волны канала.

Центральная длина волны канала $\lambda_{0,n}$ - это среднее арифметическое значение между верхней $\lambda_{upper,n}$ и нижней $\lambda_{lower,n}$ длины волны отсечки канала n :

$$\lambda_{0,n} = \frac{\lambda_{upper,n} + \lambda_{lower,n}}{2} \quad (5.1)$$

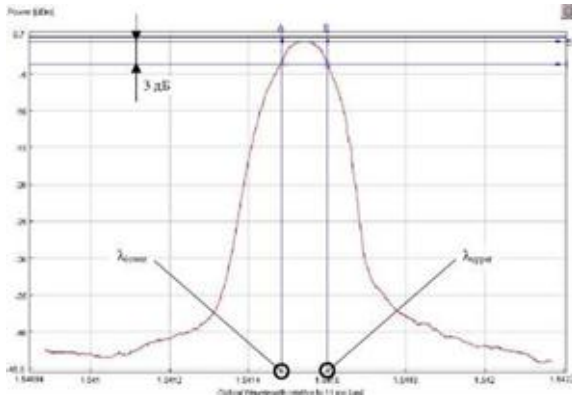


Рисунок 5.2. К оценке верхней и нижней длины волны отсечки.

Длины волн отсечки - верхняя и нижняя - это длины волн, на которых вносимые потери достигают заданного уровня 3 дБ или, иными словами, определяются по уровню - 3 дБ относительно максимума (рис. 2).

Для идеального симметричного спектра оптического канала центральная длина волны совпадает с длиной волны спектрального максимума. На практике спектральные кривые могут иметь более сложную форму, нередко содержащую несколько пиков. В этом случае длины волн отсечки определяются на «крыльях» кривой, а центральная длина волны может не совпадать с длиной волны спектрального максимума. Относительно слабые отклонения в форме спектра приводят к заметному изменению центральной длины волны. Тем не менее, длину волны передатчика стараются делать как можно ближе к номинальной длине волны частотного плана ITU.

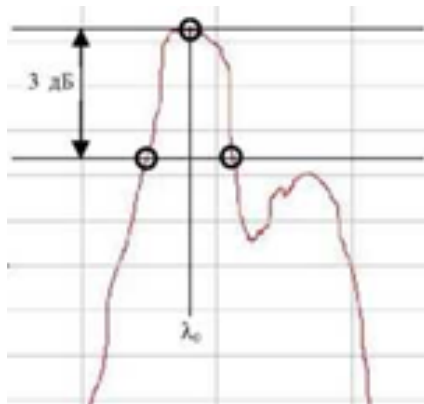


Рисунок 5.3. Влияние формы спектральной характеристики на положение центральной длины волны канала.

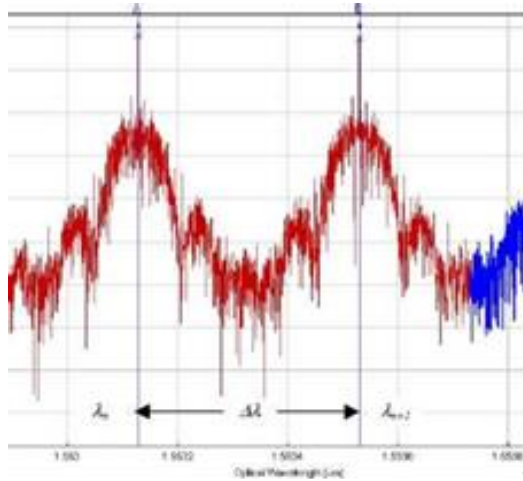


Рисунок 5.4. К оценке интервала между каналами.

5.3 Отклонение центральной длины волны канала.

Отклонение центральной длины волны канала ΔA_n определяется как разность между номинальной длиной волны канала частотного плана ITU и действительной. Основными причинами несовпадения A_0 с частотным планом ITU являются: чирп-эффект источника оптического излучения, влияние ширины полосы информационного сигнала, уширение спектра за счет эффекта самомодуляции фазы, старение лазера и влияние температуры окружающей среды.

5.4 Интервал (расстояние) между каналами.

Интервал между каналами ΔA определяется как разность между центральными длинами волн A_0 соседних каналов (рис. 5.4):

$$\Delta\lambda = \lambda_{0,n+1} - \lambda_{0,n} \quad (5.2)$$

Интервал между каналами должен соответствовать частотному плану системы WDM. В существующих системах используются как равномерные, так и неравномерные частотные планы каналов.

Неравномерные интервалы между каналами в основном используются для снижения нелинейного эффекта четырехволнового смешения, когда в результате нелинейного взаимодействия излучения в волокне на двух и более частотах возникают сигналы с новой частотой. При равномерных интервалах между каналами новый паразитный сигнал может совпасть по частоте с существующими сигналами других каналов и

тем самым привести к возникновению перекрестных помех. При неравномерных интервалах между каналами четырехволновое смещение приводит к дополнительным шумам на длинах волн, не используемых для передачи полезного сигнала.

5.5 Полоса пропускания по уровню - 3 дБ (и другим пороговым уровням: - 10 дБ; - 20 дБ или ниже).

Полоса пропускания BW - это та часть спектра передаваемого оптического сигнала, в пределах которой все спектральные составляющие превышают некоторый заданный пороговый уровень. Данная величина определяет спектральный диапазон, в пределах которого устройство может быть эффективно использовано (рис. 5.5).

Определение полосы пропускания при двух и более пороговых уровнях позволяет показать ее форму на краях, которая обычно зависит от порядка используемого фильтра. Значения ширины полосы пропускания при очень большом затухании (- 20, - 30 дБ) полезны для прогнозирования уровня возможных перекрестных помех в соседних каналах систем WDM. Конкретное пороговое значение ширины полосы пропускания зависит от степени изоляции соседних каналов, необходимой для отдельных сетевых приложений.

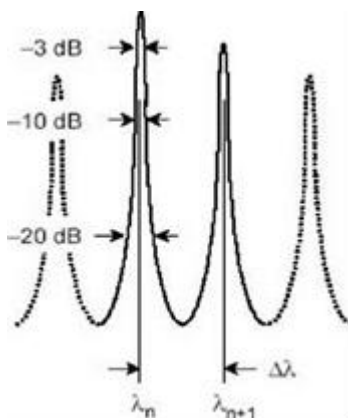


Рисунок 5.5. К оценке полосы пропускания BW_{-3} , BW_{-10} , BW_{-20}

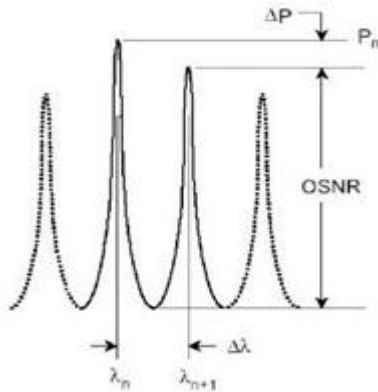


Рисунок 5.6. К оценке значений P_n , P_n и OSNR

5.6 Мощность оптического излучения в канале.

Мощность оптического излучения в канале P_n измеряется по спектральной характеристике, представленной на рис. 5.6. Данная величина нормируется, согласно [2.4 - 2.5], относительно значения суммарной мощности оптического излучения, представленного в п. 2.7. Превышение значения оптической мощности в канале нормируемого значения приводит к увеличению перекрестных помех и росту числа ошибок на приемной стороне.

5.7 Суммарная мощность оптического излучения.

Суммарная мощность оптического излучения P_Σ определяется как мощность оптического излучения при передаче группового потока спектрального уплотнения. Данная величина измеряется на выходе мультиплексора с помощью измерителя оптической мощности и, согласно [2.4 - 2.5], не должна превышать +27 дБм или 500 мВт для длины волны $\lambda=1550$ нм. Увеличение P_Σ приводит к усилению проявления нелинейных эффектов в оптических волокнах линейного тракта системы WDM, а также существенно увеличивает перекрестные помехи на приеме.

В данной работе суммарная мощность оптического излучения оценивается по заданной спектральной характеристике как сумма мощностей оптического излучения в каждом канале по следующей формуле:

$$P_\Sigma = \sum_{n=1}^N P_n = \sum_{n=1}^N 10^{0.1p_n} \quad (5.3)$$

$$P_\Sigma = 10 \log \left(\frac{P_\Sigma}{P_{1\text{мВт}}} \right), \text{ дБм}$$

где N - общее число каналов, P_n - мощность, мВт и p_n - уровень мощности, дБм, в оптическом канале n с центральной длиной волны $\lambda_{o,n}$, соответственно.

Представленное выше максимально допустимое значение суммарной мощности оптического излучения, в свою очередь, согласно [2.4 - 2.5], определяет и верхний предел для уровня мощности оптического излучения в каждом оптическом канале:

$$p_{\text{кан}} = P_{\Sigma} - 10 \log N, \text{ дБм} \quad (5.4)$$

5.8 Максимум различия мощности в оптических каналах.

Максимум различия мощности в оптических каналах определяется как разность между наибольшим и наименьшим значениями мощности оптических сигналов в оптических каналах (рис. 5.6). Данная величина не зависит от количества каналов и не должна превышать 2 дБ [2.4 - 2.5].

5.9 Отношение сигнал/шум (OSNR - Optical Signal-to-Noise Ratio) в канале.

OSNR отражает превышение мощности принимаемого сигнала над шумовым фоном для каждого канала и определяется как отношение средней мощности оптического сигнала в канале к средней мощности оптического шума в полосе спектра частот оптического сигнала соответствующего оптического канала (рис. 6):

$$OSNR_i = 10 \log \left(\frac{P_i}{P_{noise,i}} \right) = p_i - p_{noise,i}, \text{ дБ} \quad (5.5)$$

Чем больше OSNR, тем легче идентифицировать принимаемые биты сигнала на уровне шума. Значения OSNR нормируется исходя из того, чтобы вносимый в оптический тракт системы WDM обусловленный применением оптических усилителей (ОА) дополнительный шум не уменьшал это отношение ниже 20 дБ [2.4 - 2.5]. Поэтому величина OSNR определяется следующим выражением, соответствующему выходу первого ОА₁ в оптическом тракте после мультиплексора [2.4 - 2.5]:

$$OSNR_{max,1} = 19 + x - k + 10 \lg(x), \text{ дБ} \quad (5.6)$$

и на выходе k -го промежуточного усилителя ОА _{k} :

$$OSNR_{max,k} = 19 + x - k + 10 \lg\left(\frac{x}{k+1}\right), \text{ дБ} \quad (5.7)$$

где x - число элементарных кабельных участков (ЭКУ) на регенерационном участке ВОЛП системы WDM, при этом ЭКУ, согласно [2.4 - 2.5] определяется как участок оптического тракта между оптическими усилителями.

5.10 Изоляция.

Рассмотрим работу демультиплексора, а именно один из его выходных каналов с центральной длиной волны λ_i . Большая часть мощности излучения на данной длине волны идет i -му каналу - полезный сигнал. Однако часть излучения на этой длине волны может также присутствовать и в других выходных каналах в качестве паразитного сигнала. Очевидно, наибольшая мощность паразитного сигнала на длине волны λ присутствует в соседних каналах λ_{i-1} и λ_{i+1} .

Изоляция определяет уровень ослабления сигнала данного канала в других каналах, где этот сигнал не является основным. При измерении ослабленной доли сигнала, который в идеально работающем компоненте вообще должен отсутствовать, принимают во внимание характеристики полосы пропускания каждого канала и указывают значения при наихудших учитывается максимальный уровень паразитного сигнала на длине волны λ в пределах полосы пропускания по уровню - 20 дБ канала λ). Изоляция определяется как минимальная величина ослабления мощности сигнала с выборкой по всем неосновным выходным каналам по отношению к основному входному каналу. Для канала i с центральной длиной волны λ изоляция оценивается по следующей формуле:

$$isolation_i = \min_{j \neq i} 10 \log \frac{P_i}{P_{out,j}(\lambda_i)} = \min_{j \neq i} [p_i - p_{out,j}(\lambda_i)], \text{ дБ} \quad (5.8)$$

Где P_i - мощность, а p_i - уровень мощности оптического сигнала в канале с центральной длиной волны λ , $P_{out,j}(\lambda_i)$ - мощность, и $p_{out,j}(\lambda_i)$ - уровень мощности сигнала канала с центральной длиной волны λ , присутствующего в канале j (j не совпадает с i) (рис. 5.7).

Так, изоляция в 30 дБ означает, что уровень сигнала в каждом из соседних каналов на длине волны основного канала ниже уровня сигнала основного канала на этой длине волны как минимум на 30 дБ.

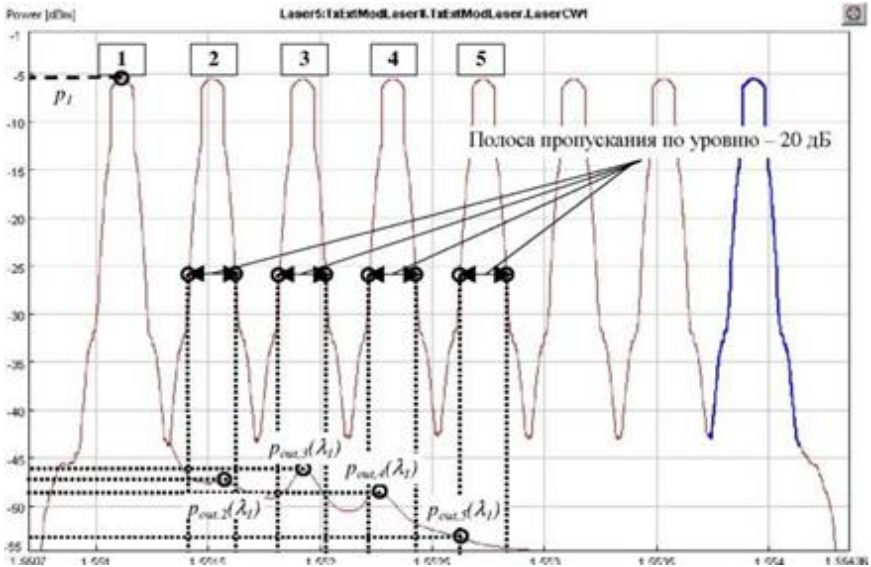


Рисунок 5.7. К оценке изоляции оптического канала.

5.11 Переходная помеха (ХТ - Crosstalk).

Оптическая переходная помеха между оптическими каналами определяется в каждом оптическом канале как отношение средней мощности оптического сигнала из остальных оптических каналов к средней мощности оптического сигнала данного канала в полосе частот соответствующего оптического канала:

$$XT_i = 10 \log \frac{\sum_{j \neq i} P_{out,i}(\lambda_j)}{P_i} = 10 \log \frac{\sum_{j \neq i} 10^{0.1 p_{out,j}(\lambda_j)}}{10^{0.1 p_i}}, \text{ дБ} \quad (5.9)$$

где P , - мощность, а p , - уровень мощности оптического сигнала в канале с центральной длиной волны λ , $P_{out,j}(\lambda_i)$ - мощность, и $p_{out,j}(\lambda_i)$ - уровень мощности сигнала канала с центральной длиной волны λ , присутствующего в канале j (j не совпадает с i) (рис. 5.8).

Согласно [2.4 - 2.5], величина перекрестных помех не должна превышать -30 дБ на передаче, и - 27 дБ на приеме, соответственно.

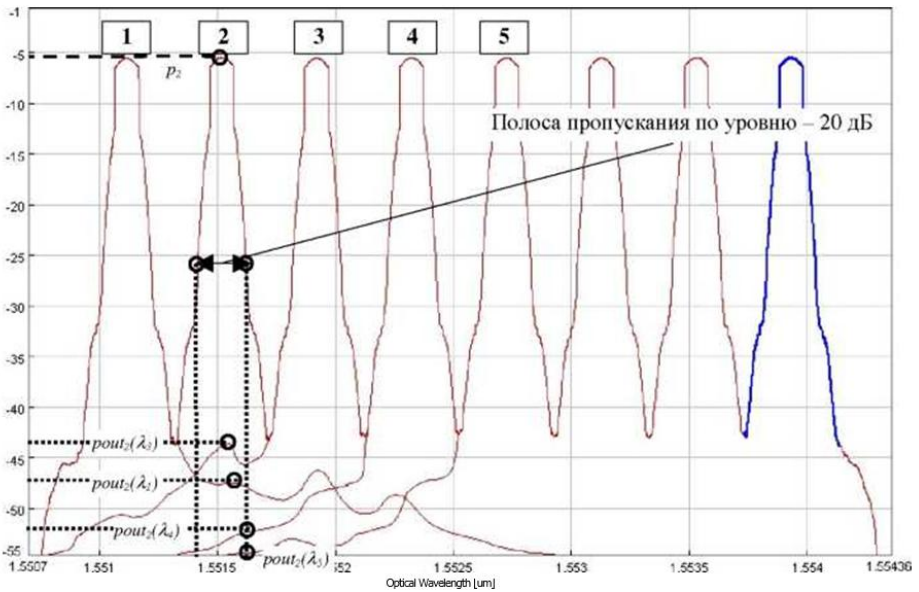


Рисунок 5.8. К оценке переходной помехи оптического канала.

5.12 Перекрестные помехи на дальнем конце (FEXT - Far-End Crosstalk).

Перекрестные помехи определяют превышение уровня мощности входного сигнала на длине волны λ , над всей суммарной утекающей мощностью этого сигнала в неосновные каналы:

$$FEXT_i = 10 \log \frac{P_i}{\sum_{j \neq 1} P_{out,i}(\lambda_j)} = 10 \log \frac{10^{0.1 p_i}}{\sum_{j \neq 1} 10^{0.1 p_{out,j}(\lambda_j)}}, \text{ дБ} \quad (5.10)$$

где P , - мощность, а p , - уровень мощности оптического сигнала в канале с центральной длиной волны λ , $P_{out j}(\lambda_i)$ - мощность, и $p_{out j}(\lambda_i)$ - уровень мощности сигнала канала с центральной длиной волны λ_i , присутствующего в канале j (j не совпадает с i) (рис. 5.7).

6. Выполнение задания.

6.1 Исходные данные.

Спектральная характеристика группового сигнала 8-ми канальной системы WDM.

6.2 Определение спектральных параметров каналов системы WDM

Согласно п.п. 5.1 - 5.5, определить спектральные параметры каналов системы WDM, результаты представить в таблице 1.

Примечание 1: Отклонение центральной длины волны канала $d\lambda_n$ определяется относительно частотного плана ITU, приведенного в Приложении 2.

Примечание 2: При расчете параметров системы WDM по пп. 5.5, 5.10, может оказаться, что определить полосу пропускания по уровню - 20 (10) дБ BW_{-20} (BW_{-10}) невозможно. В этом случае также определяют три значения полосы пропускания:

- по уровню - 3 дБ (BW_{-3});
- если возможно - по уровню - 10 дБ (BW_{-10}), в противном случае по среднему уровню p_{cp} (BW_{cp});
- по минимальному уровню сигнала в анализируемом канале p_{min} (BW_{pmin}).

При этом минимальный уровень сигнала в анализируемом канале будет соответствовать уровню мощности сигнала на 1 дБ выше уровня мощности шума p_{noise} :

$$p_{min} = p_{noise} + 1, \text{ дБ}$$

а p_{cp} определяется как среднее арифметическое уровня мощности сигнала на 3 дБ ниже уровня мощности в канале p_{-3} и минимальным уровнем мощности p_{min} :

$$p_{cp} = \frac{p_{-3} + p_{min}}{2}, \text{ дБ}$$
$$p_{-3} = p_n - 3, \text{ дБ}$$

Полученные значения полосы пропускания по данным пороговым уровням также заносятся в табл. 1 с указанием этих уровней.

Таблица 1.

параме тр канала n ($n=1..8$)	номер оптического канала						
$\lambda_{max,n}$,							
$\lambda_{upper,n}$							
$\lambda_{lower,n}$							
$\lambda_{0,n}$,							
$d\lambda_n$,							
$\Delta\lambda_{n,n+1}$							
BW ₋₃ ,							
BW ₋₁₀ ,							
BW ₋₂₀ ,							

6.3 Определение энергетических параметров каналов системы 1 WDM

6.3.1 Согласно п.п. 5.6 - 5.8, определить спектральные параметры каналов системы WDM, результаты представить в таблице 2.

6.3.2 Выполнить сравнение полученного значения суммарной мощности оптического излучения группового сигнала с нормированным значением, представленным в п.п.5.7.

6.3.3 По формуле (5.4) рассчитать верхний предел для мощности оптического излучения в каждом оптическом канале рКаН, сравнить с полученными значениями p_n .

Таблица 2.

параме тр канала n ($n=1...8$)	номер оптического канала						
p_n , дБм							
P_n , мВт							
P_Σ , мВт							
p_Σ , дБм							
Δp_{max} , дБм							

6.3.4 Выполнить сравнение максимума различия мощности в оптических каналах Артах с приведены нормируемые значения.

6.3.5 Результаты сравнения привести в виде выводов к данному разделу.

6.4 Определение оптического отношения сигнал/шум каналов системы WDM

6.4.1 Согласно п.п. 5.9 определить OSNR_n каналов системы WDM, результаты представить в таблице 3.

параметр канала n ($n=1...8$)	номер оптического канала							
$P_{noise,n}$, дБм								
$OSNR_n$, дБ								

6.4.2 Выполнить сравнение полученных OSNR_n с минимально допустимым значением оптического отношения сигнал/шум систем WDM, приведенным в п.п. 5.9. Если хотя бы одно из полученных OSNR_n меньше нормируемого значения, выполнить расчет необходимого числа оптических усилителей NOA путем решения уравнения вида:

$$N_{OA}(N_{OA} + 1) = 2 - 0.1OSNR_{min}$$

где OSNR_{min} - минимальное из полученных значений OSNR_n, при этом предполагается, что число ЭКУ на ВОЛП системы WDM составляет $x = 1$.

6.5 Расчет параметров помехозащищенности каналов системы WDM

6.5.1 Согласно п.п. 5.10 - 5.12, определить параметры помехозащищенности каналов системы WDM, результаты представить в таблице 4.

Таблица 4.

параметр канала n ($n=1...8$)	номер оптического канала							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$P_{out,n}(\lambda_1)$, дБм								
$P_{out,n}(\lambda_2)$, дБм								
$P_{out,n}(\lambda_3)$, дБм								
$P_{out,n}(\lambda_4)$, дБм								
$P_{out,n}(\lambda_5)$, дБм								
$P_{out,n}(\lambda_6)$, дБм								
$P_{out,n}(\lambda_7)$, дБм								
$P_{out,n}(\lambda_8)$, дБм								
$P_{out,n}(\lambda_1)$, мВт								
$P_{out,n}(\lambda_2)$, мВт								
$P_{out,n}(\lambda_3)$, мВт								
$P_{out,n}(\lambda_4)$, мВт								
$P_{out,n}(\lambda_5)$, мВт								
$P_{out,n}(\lambda_6)$, мВт								
$P_{out,n}(\lambda_7)$, мВт								
$P_{out,n}(\lambda_8)$, мВт								
$Isolation_n$, дБ								
XI_n , дБ								
FEI_n , дБ								

6.5.2 Выполнить сравнение полученных значений переходных помех в оптических каналах системы DWDM с допустимым значением, приведенным в п.п. 5.11.

Приложение 1.

Сводная таблица условных обозначений параметров передачи систем WDM.

7 п/п	Наименование параметра	Ед. изм.	Условное обозначение
I	II	III	IV
1	Длина волны спектрального максимума	нм	$\lambda_{max,n}$
2	Верхняя длина волны отсечки	нм	$\lambda_{upper,n}$
3	Нижняя длина волны отсечки	нм	$\lambda_{lower,n}$
4	Центральная длина волны канала	нм	$\lambda_{0,n}$
5	Отклонение центральной длины волны канала	нм	$d\lambda_n$
6	Интервал между каналами	нм	$\Delta\lambda_{n,n+1}$
7	Полоса пропускания по уровню - 3 дБ	нм	BW_{-3}
8	Полоса пропускания по уровню - 10 дБ	нм	BW_{-10}
9	Полоса пропускания по уровню - 20 дБ	нм	BW_{-20}
10	Мощность оптического излучения в канале n	мВт	P_n
11	Уровень мощности оптического излучения в канале n	дБм	p_n
12	Суммарная мощность оптического излучения группового сигнала	мВт	P_{Σ}

13	Уровень суммарной мощности оптического излучения группового сигнала	дБм	P_{Σ}
14	Максимально допустимый уровень мощность оптического излучения в канале	дБм	$P_{кан}$
15	Максимум различия мощности в оптических каналах	дБм	Δp_{max}
16	Уровень шума в канале n	дБм	$P_{noise,n}$
17	Оптическое отношение сигнал/шум в канале n	дБ	$OSNR_n$
18	Мощность оптического излучения из канала j с центральной длиной волны λ_j , присутствующая в канале i с центральной длиной волны λ_i , соответственно	мВт	$P_{out,i}(\lambda_j)$
19	Уровень мощности оптического излучения из канала j с центральной длиной волны λ_j , присутствующая в канале i с центральной длиной волны λ_i , соответственно	дБм	$P_{out,i}(\lambda_j)$
20	Изоляция канала n	дБ	$Isolation_n$
21	Переходная помеха в канале n	дБ	XT_n
22	Перекрестные помехи на дальнем конце в канале n	дБ	$FEXT_n$

Приложение 1.

Сводная таблица центральных длин волн (частот) 8-ми и более канальных систем WDM, согласно частотному плану ITU

Частотный план ITU		Расстояние между оптическими каналами (при числе каналов n не менее 8), ГГц						
Частота, ГГц	Длина волны, нм	ОВ NZDSF			ОВ DSF			
		100 (n>8)	200 (n>4)	500/400 (n=8)	100(n>8)	200(n>4)	200 (n=4 или 8)	
					Неравные значения расстояния со смещением от сетки частот		Неравные значения расстояния со смещ. от сетки частот на:	
				25 ГГц	50 ГГц			
196.1	1528.77	*	*		*			
196.0	1529.55	*			*			
195.9	1530.33	*	*		*	*		
195.8	1531.12	*			*			
195.7	1531.90	*	*		*	*		
195.6	1532.68	*			*			
195.5	1533.47	*	*	*	*	*		
195.4	1534.25	*			*			
195.3	1535.04	*	*		*	*		
195.2	1535.82	*			*			
195.1	1536.61	*	*		*	*		
195.0	1537.40	*			*			
194.9	1538.19	*	*		*	*		
194.8	1538.98	*		*	*			
194.7	1539.77	*	*		*	*		
194.6	1540.56	*			*			
194.5	1541.35	*	*		*	*		194.45
194.4	1542.14	*			*			
194.3	1542.94	*	*	*	*	*		194.20
194.2	1543.73	*			*			
194.1	1544.53	*	*		*	*		
194.0	1545.32	*			*			
193.9	1546.12	*	*	*	*	*	*	
193.8	1546.92	*			*			
193.7	1547.72	*	*		*	*	193.675	*
193.6	1548.51	*			*			
193.5	1549.32	*	*		*	*	193.525	
193.4	1550.12	*		*	*			
193.3	1550.92	*	*		*	*	193.350	*
193.2	1551.72	*			*			
193.1	1552.52	*	*		*	*	*	*
193.0	1553.33	*		*	*			
192.9	1554.13	*	*		*	*	*	
192.8	1554.94	*			*			
192.7	1555.75	*	*		*	*	192.625	192.750
192.6	1556.55	*			*			
192.5	1557.36	*	*	*	*	*	*	192.450
192.4	1558.17	*			*			
192.3	1558.98	*	*		*	*		
192.2	1559.79	*			*			
192.1	1560.61	*	*	*	*	*		