**КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

**Изучите конспект лекций, дополнительную литературу по теме и составьте письменно краткие ответы на вопросы. Решите задачу с данными по своему варианту, который соответствует номеру пароля или студ. билета.**

**Контрольные вопросы к разделу 1**

1. Что называют оптическими физическими средствами сопряжения?

2. Устройство и назначение модуля SFP.

3. Конструктивные отличия модулей SFP от XFP, CFP и их характеристик.

4. Указать диапазоны волны оптического спектра, которые генерируются и детектируются в модулях SFP, XFP, CFP.

5. Назвать возможные расстояния оптической передачи, которые могут поддерживать модули SFP, XFP, CFP при использовании одномодовых волокон G.652.

6. Назвать типы лазеров и фотодетекторов, которые применяются в модулях SFP, XFP, CFP.

7. Какими средствами можно перестроить длину волны излучения одномодового лазера?

8. Определит назначение в оптических модулях селективных фотодетекторов.

9. Что позволяет использовать модули SFP, XFP для построения систем передачи CWDM и DWDM?

10. В чем принципиально отличаются транспондеры от модулей?

11. Какие функции поддерживают мукспондеры MxPD?

12. Когда и почему в транспондерах используются фазовые форматы модуляции?

13. Назвать особенности фазовой модуляции DP-QPSK в сравнении с NRZ.

14. Каким должно быть соотношение OSNR в транспондерах на скорости передачи 126,5Гбит/с для получения цифровых данных с ошибками не более 10-4?

15. Назвать назначение смартлинков.

16. Почему смартлинки называют умными устройствами?

17. Что представляет собой оптический интерливинг?

18 .Назвать приборы, обеспечивающие спектральный интерливинг.

**Задача 1**

Используя данные реальных модулей SFP/XFP , приведённые в табл.1.1, оценить возможность их применения на волоконно-оптических линиях различной протяженности (табл.1.2), представляющих собой волокна стандарта G.652 A, B, C, D (SMF). Оценку применимости модулей на соответствующих волокнах подтвердить расчётами энергетических параметров дисперсионных искажений. Значения затухания и дисперсии выбрать по рис.З.1. Оценить возможную перегрузку приёмника.

Табл. 1.1 Характеристики модулей SFP/XFP

|  |  |
| --- | --- |
| Параметры модулей | Предпоследняя цифра номера пароля |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Тип модуля SFP/XFP | SFP 100 Base LX | SFP 100 Base ZX | SFP 1000 Base LX | SFP 1000 Base XD CWDM | SFP 1000Base ZX CWDM | SFP 1000Base EX  | XFP 10G Base LR | XFP 10G Base ER/ EW | XFP 10G DWDM 1 | XFP 10G DWDM 2 |
| Тип коннектора | Дуп-лекс LC | Дуп-лекс LC | Дуп-лекс LC | Дуп-лекс LC | Дуп-лекс LC | Дуп-лекс LC | Дуп-лекс LC | Дуп-лекс LC | Дуп-лекс LC | Дуп- лекс LC |
| Скорость передачи, Мбит/с | 100 | 100 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 10 Гбит/с | 10 Гбит/с | 10 Гбит/с | 10 Гбит/с |
| Рабочая волна, нм | 1310 | 1550 | 1310 | 1471 | 1571 | 1550 | 1310 | 1550 | 1530,33 | 1545,32 |
| Мощность передатчика, дБм | -14… -23,5 | -2… -3 | -3… -9 | +1… -4 | +5… 0 | +5 … . 0 | +0,5 … -8.2 | +4 … -4,7 | +3 ….. -1 | +5 ….. 0 |
| Чувствительность приёмника, дБм | -33,5 | -30 | -20 | -21 | -24 | -30 | -12,6 | -11,3 | -24,5 | -24,5 |
| Макс. вх. уровень на приёме, дБм | -8 | -5 | -3 | -3 | -3 | -9 | +1,5 | +4 | +1 | +1 |
| Штраф за дисперсию, дБ | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3,2 | 3 | 3 | 3 |
| Энергетичес-кий потенциал | 10 | 27 | 10,5 | 17 | 24 | 30 | 9,4 | 15 | 23 | 24 |

Табл. 1.2 Типы и длины волоконных световодов

|  |  |
| --- | --- |
| Типы и длины световодов | Последняя цифра номера пароля |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Тип световода G.652 | A | B | C | D | A | B | C | D | A | C |
| Длина кабельной линии, км | 2 | 3 | 6 | 10 | 18 | 24 | 30 | 48 | 56 | 100 |
| Число строительных длин кабеля | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 20 |
| Потери на стыке строительных длин, дБ | 0,5 | 0,4 | 0,1 | 0,15 | 0,025 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |



Рис. 3.1 Спектральные характеристики волокна G.652

**Методические указания к задаче 1**

1. Расчёт энергетических параметров рекомендуется произвести по формуле 5.1 конспекта лекций:



где принять, PS , PR и PD по таблице 1.1, Ме рассчитать, как разность между максимальным и минимальным уровнями мощности передатчика, N – число строительных длин кабеля; lS – потери энергии на стыках строительных длин (дБ); NC – число разъемных соединений между точками S и R (считать 4); lС – потери энергии на разъемном соединении (для всех вариантов 0,5 дБ); αС – коэффициент затухания кабеля (дБ/км) – определяется по рисунку З.1; α m – запас на повреждения кабеля (дБ/км) принять 0,05дБ/км. Полученная в расчёте длина LРУ должна быть больше или равна длине кабельной линии, указанной в табл.1.2 с учётом числа строительных длин. В противном случае делается вывод о несовместимости по энергетическому потенциалу модулей и линии.

Также необходимо оценить перегрузку приёмника. Для этого из максимального уровня мощности передатчика вычитается затухание кабельной линии (с учётом потерь на стыках) и полученное значение уровня мощности сравнивается с максимальным входным уровнем на приёме (табл.1.1), и делается вывод о возможной перегрузке приёмника.

2. Величина уширения оптического импульса в указанной длине кабеля не должна превышать 10% длительности импульса оптического информационного сигнала в формате NRZ. Например, при скорости передачи 10 Гбит/с длительность импульса составит 100 пс. На волне передачи 1511нм величина дисперсии составит 15пс/нм×км, что при ширине спектральной линии 1нм уже превысит 10% от допустимой величины дисперсии. Необходимо выбирать модуль с шириной спектральной линии до 0,1 нм и/или применять компенсацию дисперсии стандартными пассивными модулями DCF (10, 20, 30 км и т.д.). При использовании DCF в энергетических расчётах нужно учесть затухание такого модуля.

В предлагаемой задаче нужно только оценить возможность использования предложенного по варианту модуля SFP/XFP вслед за энергетической оценкой произвести оценку дисперсионных искажений и сделать вывод о целесообразности использования заданного модуля или выбора другого.

**Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.**

**Контрольные вопросы к разделу 2**

1. Назвать отличия мультиплексоров OADM и ROADM.

2. Назначение мультиплексоров OADM.

3. Какие компоненты входят в состав OADM?

4. Привести достоинства и недостатки мультиплексоров OADM.

5. Что обозначает буквенный символ R в ROADM?

6. На чём может быть построена конструкция ROADM?

7. Перечислить компоненты в конструкции ROADM на волновых блокираторах.

8. Что относится к недостаткам ROADM на основе WB?

9. Что представляют собой MEMS?

11. Перечислить возможности ROADM на основе MEMS.

12. Что входит в конструкцию ROADM PLC?

13. Что обозначает сокращение PLZT в конструкциях ROADM?

14. Какой элемент PLC можно считать базовым для построения коммутатора?

15. Что принципиально нового в конструкциях ROADM третьего поколения?

16. Что обеспечивают WSS в составе ROADM?

17. Какие компоненты входят в общую структуру узла оптической кроссовой коммутации?

18. Какие устройства входят в состав фотонного коммутатора PXC?

19. Указать виды оптических коммутационных матриц в составе PXC.

**Задача 2**

Определить число оптических каналов на каждой из оптических секций мультиплексирования в цепочке, состоящей из 2-х терминальных DWDM мультиплексоров и Х (число по варианту табл.2.1) промежуточных оптических мультиплексоров типа ROADM. Внутри каждой пары оптических мультиплексоров организовано Y (число по варианту табл.2.2) оптических каналов.

Табл. 2.1. Число мультиплексоров и типы интерфейсов

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Предпоследняя цифра номера пароля |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Число мультиплексоров ROADM, ХУсловный номер | 30 | 41 | 52 | 63 | 64 | 55 | 46 | 37 | 48 | 59 |

Каждому условному номеру соответствует интерфейс (приложение 3):

0 – DN100S-1D2(с); 1 – DN100S-1D3(L); 2 - DN100S-1D5(c); 3 - DN100S-1D2(с)F; 4 - DN100S-1D3(L)F; 5 - DN100S-1D5(c)F; 6 - DW100S-1D2(c)F; 7 - DW100S-1D3(c)F; 8 - DW100S-1D5(c)F; 9 - DW100L-1D5(c)F.

Табл. 2.2. Число оптических каналов в секциях

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Последняя цифра номера пароля |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Число каналов внутри каждой пары мультиплексоров Y | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |

**Методические указания к задаче 2**

1. Графически изобразить заданное число мультиплексоров, т.е. 2 терминальных и Х типа выделения/ввода с реконфигурацией ROADM, включенных в цепочку. Пары мультиплексоров определяются по принципу «каждый с каждым» связаны Y каналами. Например, в цепочке из 2-х терминальных и 2-х промежуточных мультиплексоров будет 6 пар.

2. Графически отобразить в каждой паре мультиплексоров (в том числе и терминальных) требуемое по варианту число оптических каналов.

3. Определить на каждой секции мультиплексирования, т.е. между соседними мультиплексорами общую ёмкость оптических каналов.

**Привести письменно выводы и оценки по результатам вычерчивания схемы и расчетов.**

**Контрольные вопросы к разделу 3**

1. Назвать основные модели протокольных решений по сопряжению оптических систем.

2. Назначение линейного кодирования в оптических средствах сопряжения.

3. Назначение скремблера линейного сигнала.

4. Изобразить схему линейного скремблера, соответствующего полиному 1+Х+Х3+ Х12+ Х16.

5. Что достигается в средствах сопряжения через FEC?

6. Назначение кодирования Рида – Соломона.

7. Состав цикла PDH Е1.

8. Какой принцип положен в основу объединения Е1 в Е2, Е2 в Е3, Е3 в Е4?

9. Что позволяет согласовать скорости передачи потоков при плезиохронном мультиплексировании?

10. Какие скорости передачи имеют потоки Е2, Е3, Е4?

11. Что представляет собой SDH?

12. Чем отличаются виртуальные контейнеры VC-X от цифровых блоков TU, AU?

13. Чем отличаются виртуальные контейнеры VC-X-Xc от VC-X-Xv?

14. Что показывает PTR в AU и TU?

15. Назначение байт и бит заголовков VC-12, VC-3/4 и RSOH, MSOH STM-N?

16. Какие иерархические скорости передачи в оптических линиях с SDH?

17.Назвать цифровые и оптические составляющие в структуре мультиплексирования OTH.

18. Какие скорости передачи достижимы в оптических каналах с блоками OTUk?

19. Что объединяет OTMn.m?

20. Назвать составляющие структуры цикла OTUk.

21. Какому протокольному уровню соответствует технология АТМ?

22. Что образует виртуальные соединения в сети с АТМ?

23. Назвать назначение составляющих структуры ячейки АТМ?

24. Назвать разновидности кадров Ethernet.

25. Чем отличаются структуры кадров Ethernet 802.1, 802. 1Q, 802.1ad, 802.1ah?

26. Какие компоненты кадра Ethernet поддерживают виртуальную локальную сеть VLAN?

27. Что входит в структуру сети RPR?

28. Какие классы обслуживания предусмотрены в RPR?

29. Назвать компоненты в структуре кадра RPR?

30. Что поддерживают протоколы TCP/IP?

31. В чём преимущества технологии MPLS?

32. Что представляют собой метки MPLS?

33. Какие возможности имеет протокол TP-MPLS?

**Задача 3**

Определить возможность совместимости по скорости передачи и производительности технологий 1 и 2 уровней при размещении ячеек АТМ или кадров Ethernet в циклические структуры PDH, SDH, OTH.

В табл.3.1 по вариантам указано число информационных и служебных ячеек или кадров Ethernet определённой ёмкости, которые должны быть переданы из буферной памяти за 1 секунду циклическими структурами (Е1, Е3, Е4, VC-X, OTUk).

В табл.3.2 по вариантам указаны соответствующие технологии 1-го уровня и циклические структуры, в которые должны быть размещены все пакеты (ячейки), накапливаемые в буфере за 1 сек. Если указанные пакеты (ячейки) невозможно указанной циклической структурой передать за 1 секунду, то следует считать несовместимыми технологии 1 и 2 уровней. Предложить циклическую структуру подходящей ёмкости и технологии.

Таблица 3.1 Ячейки АТМ и кадры Ethernet для передачи

|  |  |
| --- | --- |
| Информационные и служебные блоки данных | Предпоследняя цифра номера пароля |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Число информационных ячеек АТМ | 10 000 | - | 100 000 | - | 1 000 000 | - | 500 | - | 1000 | - |
| Число информационных кадров Ethernet | - | 4 000 | - | 12 000 | - | 20 000 | - | 100 000 | - | 500 000 |
| Ёмкость кадра Ethernet, байт | - | 1 200 | - | 1 500 | - | 1000 | - | 800 | - | 1400 |
| Служебные ячейки АТМ | 360 | - | 5 000 | - | 10 000 | - | 50 | - | 100 | - |
| Служебные кадры Ethernet | - | 40 | - | 600 | - | 100 | - | 1000 | - | 500 |

Таблица 3.2 Технологии физического уровня и циклические структуры

|  |  |
| --- | --- |
|  | Последняя цифра номера пароля |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Технология и цикл | PDH, E1 | PDH, E3 | PDH, E4 | SDH VC-12 | SDH VC-12-5v | SDH VC-4 | SDH, VC-4-16v | OTH, OTU1 | OTH, OTU2 | OTH, OTU3 |

**Методические указания к задаче 3**

1. Используя конспект лекций и дополнительную литературу необходимо определить величины полей полезной нагрузки циклов физического уровня, например, цикл Е1 имеет длительность 125 мкс и полезную ёмкость 30 байт. Виртуальный контейнер VC-12 имеет длительность 500 мкс и полезную ёмкость 136 байт. Виртуальный контейнер VC-4 имеет длительность 125 мкс и полезную ёмкость 2340 байт. Поле полезной ёмкости OTU1 составляет 15228 байт при длительности цикла 48,971мкс.

Необходимо обратить внимание на структуры циклов Е3 и Е4. В них представление побитовое. Из расчета полезной нагрузки исключаются биты синхросигнала, согласования скоростей (КСС) и вставок. Кроме того могут использоваться структуры циклов Е3 и Е4 с побайтовой организацией и цикличностью 125мкс [1].

2. Определить, сколько циклических структур будет передано в интерфейсе за 1 секунду, например, циклов Е3 будет передано 1/44,7мкс =22371 полный цикл.

3. Определить полезную ёмкость, переданную за 1 сек соответствующими циклами, например, полезная ёмкость 2-х сцепленных VC-12-2v составит

136×2×2000=544000 байт.

4. Определить, сколько кадров или ячеек может быть размещено в полезной структуре за 1 секунду, например, в 2-х сцепленных VC-12-2v можно разместить ячеек АТМ: 544000/53=10264 целых ячейки. Полученное число необходимо сравнить с заданным по варианту для ячеек АТМ и, соответственно, по другим вариантам для Ethernet.

**Привести письменно выводы и оценки по результатам расчетов.**

**Контрольные вопросы к разделу 4**

1. Назвать группы стандартов на оптические интерфейсы.

2. Назвать организации по стандартизации оптических интерфейсов.

3. Что характеризуют оптические интерфейсы PDH?

4. Назвать разновидности интерфейсов SDH.

5. Чем отличаются интерфейсы SDH для коротких, средних и протяженных линий?

6. Какая технология передачи данных имеет оптические интерфейсы IEEE 802.3?

7. Что обозначает аббревиатура MPI-Sm в обозначении интерфейса?

8. Какие сведения содержит обозначение интерфейса CWDM?

9. Что нормируется в точках MPI-Sm , MPI-Rm?

10. Что входит в обозначение прикладного кода интерфейса G.696.1?

11. Как в обозначении интерфейса отмечается наличие рамановского усилителя?

12. В чём особенности многоканального оптического интерфейса OTN G.959.1?

**Задача 4**

Представить подробное описание оптического интерфейса в соответствии с заданием варианта по табл. 4.1. Указать технологию, число спектральных каналов, дистанцию применения, типы волоконных световодов и т.д.

Табл. 4.1. Стандартные оптические интерфейсы

|  |  |
| --- | --- |
|  | Предпоследняя цифра номера пароля |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Последняя цифра номера студенческого билета | 0 | P1S1-3C2 | B-C8L1-0D2 | B-C8L1-1D2 | BC4L1-0D2 | 1U1-1B2F | BC4L1-0D3 | BC4L1-1D2 | BC4L1-1D3 | C8S1-1D2 | P1U1-1A5 |
| 1 | B-C8S1-1D3 | P1S1-3C3 | V-4.1 | V-4.2 | P16S1-2C2 | V-4.3 | U-4.2 | U-4.3 | 1S1-2D5bF | C8L1-1D2 |
| 2 | V-16.2 | DN100S-2D2 (C) | P1S1-3C5 | DN100S-2D3 (L) | P16S1-2C3 | DW 100S-2D2 (C)F | DW 100S-2D3 (L)F | 1S1-2D3bF | DW 100S-2D5 (C)F | L-16.1 |
| 3 | V-16.3 | DW 100L-2D3 (L)F | DW 100L-2D5 (C)F | P1L1-3A2 | P16S1-2C5 | B-C8L1-1D2 | P1S1-2D5b | DN100S-2D2 (C) | C16L1-1D2 | S-16.2 |
| 4 | 1U1-1B3F | P1L1-1D2 | P16S1-1D2 | P16S1-1D5 | P1L1-3A3 | P1S1-2D3b | P16S1-2B2 | P16S1-2B5 | P1L1-1D1 | 1L1-1D2F |
| 5 | P1U1-1A2 | C8S1-1D2 | B-C8L1-0D2 | P1U1-1A5 | P1S1-2D3a | P1L1-3A5 | B-C12L1-1D2 | C16S1-1D2 | P1S1-3C5 | U-16.2 |
| 6 | DN100L-2D2 (C)F | U-16.3 | DN100L-2D3 (L)F | 1S1-2D2bF | C16L1-1D2 | DW 100L-2D5 (L) | 1L1-3C2FD | DN100L-2D5 (C)F | DW 100L-2D2 (C)F | P1U1-1A3 |
| 7 | L-16.3 | DN100L-2D2 (C) | P1S1-2D2b | DN100L-2D3 (C) | C16S1-1D2 | DW 100L-2D2 (C) | S-4.2 | 1L1-3C3FD | DN100L-2D5 (C) | L-16.2 |
| 8 | C4S1-1D2 | P1S1-2D2a | L-4.1 | L-4.2 | B-C12L1-1D2 | L-4.3 | DW 100L-2D3 (L) | S-4.1 | 1L1-3C5FD | C4S1-1D3 |
| 9 | P1S1-2D1 | C4S1-1D5 | C4L1-1D3 | V-64.2a | 1U1-1B5F | V-64.2b | V-64.3 | C4L1-1D5 | C4L1-1D2 | 1L1-3C2F |

**Методические указания к задаче 4**

Для решения этой задачи необходимо внимательно познакомиться с соответствующим разделом конспекта лекций (раздел 4) и приложениями 1-4 в конспекте лекций. Также можно воспользоваться электронными вариантами учебных пособий [23, 24].

**Контрольные вопросы к разделу 5**

1. Назвать характеристики интерфейсов, которые входят в расчётную формулу длины регенерационного участка.

2. Чем определяется полоса частот пропускания волоконно-оптической линии?

3. Каким должно быть соотношение между длиной регенерационного участка по энергетическому потенциалу и по величине дисперсии?

4. Какими факторами ограничена длина регенерационного участка?

5. Если длина регенерационного участка по дисперсии меньше чем по энергетическому потенциалу, то что нужно предпринять?

6. Что принимается в расчёт для линий с CWDM?

7. Как определяется OSNR?

8. От чего зависит величина OSNR в протяженных волоконно-оптических линиях передачи с оптическими усилителями ?

9. Чем ограничена максимальная мощность в оптическом канале?

10. Какие характеристики учитываются при проектировании в линиях с OADM, ROADM, PXC и оптическими усилителями?

**Задача 5**

Для построенной в задаче 2 схемы организации связи оптических каналов рассчитать и построить для самого протяженного канала диаграмму уровней и оптическое отношение сигнал/шум (OSNR) на основе данных, приведённых в табл. 5.1 и 5.2.

Табл. 5.1. Исходные данные для расчётов

|  |  |
| --- | --- |
| Исходные параметры | Предпоследняя цифра номера пароля |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Тип оптического интерфейса (условный номер) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Рабочая волна, нм | 1530,33 | 1531,12 | 1531,90 | 1532,68 | 1533,47 | 1534,25 | 1535,04 | 1535,82 | 1536,61 | 1537,4 |
| Величина затухания оптического кабеля с учетом сварных стыков, дБ/км | 0,25 | 0,24 | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,2 | 0,19 | 0,18 | 0,17 | 0,16 |
| Величина хроматической дисперсии, пс/нм км | 15,5 | 16,0 | 16,4 | 16,8 | 17,2 | 17,8 | 18,2 | 18,8 | 19,2 | 19,8 |
| Коэффициент шума ROADM, дБ | 5,5 | 5,8 | 6,2 | 6,5 | 6,8 | 7,2 | 7,6 | 7,8 | 8.0 | 8.4 |

Каждому условному номеру соответствует интерфейс, данные которого используются в расчёте (приложение 3 конспекта лекций):

0 – DN100S-1D2(с); 1 – DN100S-1D3(L); 2 - DN100S-1D5(c); 3 - DN100S-1D2(с)F; 4 - DN100S-1D3(L)F; 5 - DN100S-1D5(c)F; 6 - DW100S-1D2(c)F; 7 - DW100S-1D3(c)F; 8 - DW100S-1D5(c)F; 9 - DW100L-1D5(c)F.

Табл. 5.2. Расстояния между ROADM

|  |  |
| --- | --- |
| Исходный параметр | Последняя цифра номера пароля |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Расстояния между оконечными и промежуточными ROADM, км | 12 | 17 | 22 | 27 | 32 | 37 | 42 | 47 | 52 | 57 |

**Методические указания к задаче 5 и примеры расчётов с построениями приведены в приложении 5 конспекта лекций и в учебном пособии (электронная версия для ДО) [3, 23].**

**Привести письменно выводы и оценки по результатам вычерчивания диаграмм и расчетов.**