Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА

кафедра телекоммуникаций и иновационных технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Методические указания к выполнению расчетно-графических работ
для магистрантов образовательной программы
7М06201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации
(Магистратура научного и педагогического направления)

Алматы 2021

СОСТАВИТЕЛЬ: А.С. Байкенов. Исследование технологий транспортных сетей связи. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для магистрантов ОП 7М06201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АУЭС, 2021 – 16 с.

Методические указания содержат материал по РГР по дисциплине «Исследование современных транспортных сетей связи», описание выполнения трех заданий, перечень рекомендуемой литературы и контрольные вопросы к защите расчетно-графических работ.

Методические указания предназначены для магистрантов, обучающихся по ОП 7М06201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Ил. 3, табл. 9, библиогр. – 11 назв.

Рецензент: доцент каф. ЭТ А. С. Баймаганов

Печатается по дополнительному плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2021 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2021 г.

Введение

Дисциплина «Исследование технологий транспортных сетей связи» изучается магистрантами, обучающимися по образовательной программе 7М06201 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации» (ИТТСС) во втором семестре. Целью дисциплины является подготовка магистрантов, владеющих основными знаниями в области современных транспортных сетей. В соответствии с учебным планом по дисциплине ИТТСС читаются лекции и проводятся лабораторные занятия, выполняются две расчетно-графические работы. Расчетно-графические работы (РГР), выполняемые магистрантами в процессе учебы, помогут магистрантам освоить разделы курса ИТТСС.

В РГР № 1 вошли задания по организации связи мультисервисной транспортной сети на основе технологии DWDM – OTN/OTH.

В РГР № 2 необходимо рассчитать параметры оптической сети доступа PON.

1. Расчетно-графическая работа № 1. Транспортные сети

1.1. Задание для РГР № 1

Построить схему организации связи магистральной сети на основе технологии OTN/OTH – DWDM по вариантам.

Рассчитать диапазон оптических волн для организации всех спектральных каналов и его нахождение в полосах волн C, L, начиная от волны 1530 нм и выше, до 1625 нм по оптической оси. Определить значение оптических волн для других каналов. В полученной схеме необходимо использовать TM и ROADM. Найти общее число нужных транспондеров для данной сети. Предложить и обосновать схему защиты оптических каналов от повреждений. Варианты заданий взять из таблиц 1.1 и 1.2.

Т а б л и ц а 1.1 – Параметры соединения оптической транспортной сети

Параметры		Предпоследняя цифра номера транскрипта									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Конфигурация транспортной сети из 4-х узлов (A, B, C, D)		ЛЦ	К	ЛЦ	К	ЛЦ	ЛЦ	ЛЦ	К	ЛЦ	К
Эквивалентное число STM-N в оптических каналах на участках сети:	A-B	4	2	7	2	6	3	1	8	4	9
	A-C	2	4	3	5	3	6	7	3	7	5
	A-D	4	5	4	6	5	6	8	6	7	5

П р и м е ч а н и е:

ЛЦ – линейная цепь;

К – кольцо.

Т а б л и ц а 1.2 – Параметры оптической линии

Параметры	Последняя цифра номера транскрипта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Спектральный интервал между оптическими каналами, ГГц	25	30	35	40	45	50	60	75	80	100
Число резервных оптических волокон на каждой секции мультиплексирования	2	4	6	8	10	12	14	14	18	20

1.2. Методические указания

1.2.1. Линейная цепь магистральной сети будет состоять из трех секций мультиплексирования и 4-х узлов. В целях защиты секций мультиплексирования по схемам 1+1 или 1:1 нужно учесть резерв по два волокна на любую систему передачи DWDM, коль скоро их количество более

1, из волокон резервного оптического кабеля. Схему резерва одной секции мультиплексирования представить в виде рисунка.

1.2.2. Для кольцевой магистральной сети, содержащей 4 секции мультиплексирования. В каждой секции используется технология DWDM. Для резерва соединений в сети можно использовать O-SNCP или O-MSPRing (для выбора схемы защиты смотреть литературу [24]). Схему защиты привести в виде рисунка.

1.2.3. Учитывая, что STM-1 можно мультиплексировать в STM-4, 16, 64, 256, а также STM-4 в STM-16, 64, 256 и т. д. Это могут делать мукспондеры, что может уменьшить количество требуемых спектральных или оптических каналов. Примеры этих решений смотреть в каталоге продукции компании Т8 (электронный ресурс на сайте **www.t8.ru**).

1.2.4. Для расчета общей полосы частот всех оптических каналов на каждой секции мультиплексирования нужно произвести умножение полосы частот одного канала на их общее число, вне зависимости от метода организации каналов, т.е. в одном направлении либо в двух в кольце.

1.2.5. При назначении оптических волн нужно их вычислить, то есть к начальной частоте, которая соответствует λ_0 (это волна 1530нм) добавить полосу частот оптического канала по варианту табл. 1.2 и пересчитать полученное значение частоты в длину волны λ_1. Разность длин волн $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0$ будет нужным волновым интервалом для назначения дальнейших волн λ_2, λ_3 и т.д. Привести все характеристики волн по направлениям (A-B, A-C, A-D) в сводной таблице.

1.2.6. Нужно учесть при определении общего количества транспондеров (мукспондеров) то, что эти устройства в каналах используются парами.

1.2.7. Необходимо сформулировать выводы по завершении расчетов по заданию.

1.3. Пример решения задачи:

Задача № 1

Построить схему организации связи магистральной сети на основе технологии OTN/OTH – DWDM по вариантам.

Рассчитать диапазон оптических волн для организации всех спектральных каналов и его нахождение в полосах волн C, L, начиная от волны 1530 нм и выше, до 1625 нм по оптической оси. Определить значение оптических волн для других каналов. В полученной схеме необходимо использовать TM и ROADM. Найти общее число нужных транспондеров для данной сети. Привести схему резерва оптических каналов от повреждений.

Для каждого оптического канала в сети подаются потоки STM-4.

Заданная сеть имеет топологию «линейная цепь» и состоит из четырех узлов (A, B, C, D).

В ней спектральный интервал между оптическими каналами, ГГц: 70 ГГц.

Общее число резервных оптических волокон в каждой секции мультиплексирования – 16 волокон.

Т а б л и ц а 1.3 – Параметры соединений оптической транспортной сети

Участок сети	Эквивалентное число STM-N
A-B	5
A-C	3
A-D	4

Решение:

Линейная цепь магистральной сети состоит из трех секций мультиплексирования и 4 узлов. Для определения количества спектральных каналов необходимо использовать мукспондеры. Компания Т8 для передачи данных STM-4 предлагает использование агрегатора MS-D10FX [с. http://t8.ru/] (табл. 1.4).

Т а б л и ц а 1.4 – Оптические характеристики MS-D10FX

Параметр	MS-D10FX-Q3F	MS-D10F-Q3E
Линейный интерфейс, скорость передачи	2*OTU2, 10,7Гбит/с	
Тип интерфейса	XFP	MSA
Количество клиентских интерфейсов	4/8	
Стандарты клиентских интерфейсов	4x(STM-16/OTU1) or 8*(GbE/STM-1/STM-4)	
Выходная мощность	опр. XFP	<+ 4 дБм
Длины волн	-	1528,7 — 1567,1 нм
Чувствительность приемника станд./повышенная	-	-18/-24 дБм
Перегрузка приемника	-	-5…-3 дБм

Блоки MS-DC10FX имеют возможность кросс-коммутации на уровне ODUO/ ODU1 и могут объединять до 8 клиентских потоков Gigabit Ethernet, SDH STM-16 или их произвольное сочетание каналов в два линейных потока OTN OTU2. Это 10 Гбит/с. Мукспондер выполняет 3R-регенерацию сигнала и осуществляет коррекцию ошибок по рекомендации G.709. Линейные интерфейсы агрегатора, выполненные в виде XFP-модуля или в виде перестраиваемых оптических лазеров, позволяют:

- передачу клиентских сигналов GE, SDH STM-1/4/16, OTU1;
- иметь два линейных интерфейса OTN OTU2, 10 Гбит/с;
- осуществлять коррекцию ошибок G.709;
- осуществлять агрегацию 4xSTM-16, 8xSTM 1/4, 4xOTU1, 8xGE или сочетание каналов с суммарной полосой до 10 Гбит/с;
- иметь матрицу OTN кросс-коннекта до 40 Гбит/с;

– иметь 2 оптических линейных выхода DWDM XFP-модуля или перестраиваемый модуль лазеров в С-диапазоне (MSA);
– иметь до 88 каналов с шагом 50 ГГц.

Определим количество спектральных каналов (табл.1.5) и сделаем схему организации связи, учитывая число заданных каналов и характеристик мукспондеров-агрегаторов (рис.1.1):

Т а б л и ц а 1.5 – Характеристики направлений передачи

Направление передачи	Кол-во STM-4	Тип агрегатора	Кол-во спектральных каналов	Длина волны канала
A-B	5	MS-D10FX	1	λ1
A-C	3	MD-D3ES	1	λ2
A-D	4	MS-D10FX	1	λ3

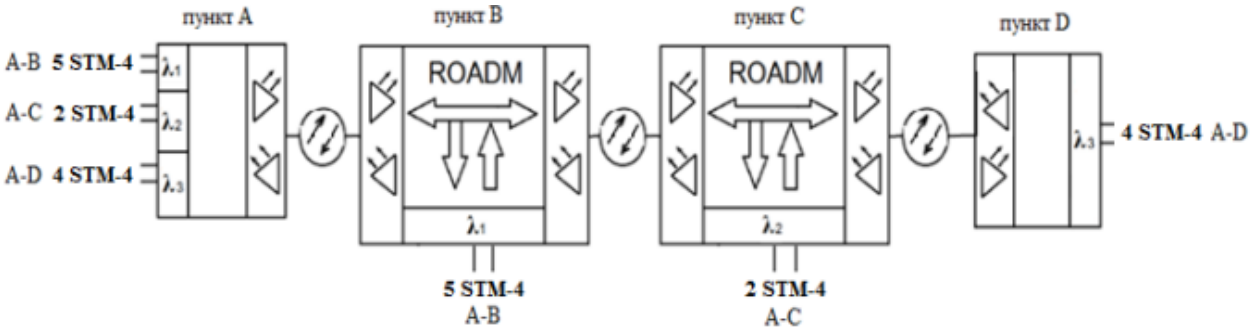

Рисунок 1.1 – Схема связи

Число мукспондеров в сети равно 12.

Вычислим длины волн оптических каналов:

Полоса частот всех каналов равна 3*70 = 210 ГГц.

Воспользуемся формулой для определения спектрального интервала между оптическими каналами:

$$\Delta F = \frac{c}{\lambda 2} - \frac{c}{\lambda 1}.$$

Спектральный интервал будет Δλ = 0,546 нм при спектральном интервале между оптическими каналами $\Delta F = 70$ ГГц и $\lambda 1 = 1530$ нм. Проектируемая сеть будет работать в полосах волн С диапазона.

Т а б л и ц а 1.6 – Длины волн спектральных каналов

Направление передачи	Обозначение длины волны канала	Длина волны канала, нм
A-B	λ1	1530,0
A-C	λ2	1530,546
A-D	λ3	1531,092

Для передачи в оптической линии используется 2-е пары волокон. Для передачи услуг при нормальных условиях нужна одна пара. Это рабочий канал. Другая пара – это резервный канал, для передачи сигналов резервного переключения при повреждении оптического волокна или сильном затухании

передаваемого оптического сигнала. Эта схема резерва использует принцип двойного ввода и выборочного приёма и однонаправленного переключения. Оптические порты RI1 и TO1 соединены волокнами рабочей линии, RI2 и TO2 соединены волокнами защитной линии (рисунок 1.2).

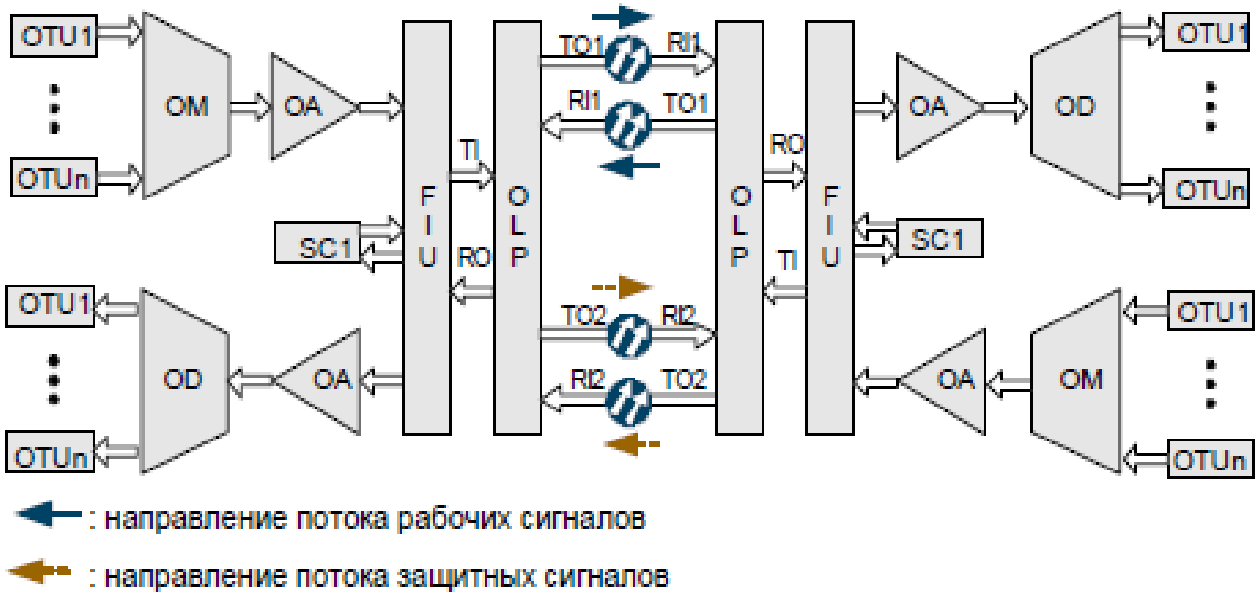

Рисунок 1.2 – Схема резервирования

Вывод: технология DWDM широко используются для высокоскоростной передачи данных в современных транспортных сетях связи.

1.4. Ответить письменно на вопросы:

1. Какие виды мультиплексирования применяются в OTN/OTH?
2. В чём суть технологии мультиплексирования Ethernet?
3. Какие существуют технологии согласования пакетной и циклической передачи?
4. Чем отличаются структуры циклов SDH STM-N (N=0,1,…256) от циклов OTH OTU-k (k=1, 2, 3,4)?
5. Перечислить основные отличия пакетов ATM от пакетов Ethernet.
6. Какие разновидности блоков данных Ethernet предназначены для транспортной сети?
8. Понятие «сетевой элемент» в транспортной сети.
9. Какие существуют разновидности сетевых элементов (СЭ) в транспортных сетях?
10. Что входит в состав мультисервисных транспортных платформ?
11. Какие функции оптических усилителей и регенераторов в транспортной сети?
12. Какие функции терминальных мультиплексоров и мультиплексоров ввода/вывода?

13. Что такое «цветной интерфейс»?

14. Какое назначение ROADM в сети с DWDM?

15. Назовите виды интерфейсов аппаратуры транспортных оптических сетей.

16. Какое основное отличие оптических интерфейсов стандартов G.692, G.695, G.696, G.698?

17. Назовите конфигурации транспортных сетей, наиболее устойчивых к повреждениям.

18. Опишите секцию оптического мультиплексирования в транспортной сети.

19. Каковы функции резервных переключений в оптической сети на основе SDH, Ethernet и OTN/OTH?

20. Функции управления в оптической транспортной сети.

2. Расчетно-графическая работа № 2. Расчет сети PON

2.1 Задание по расчетно-графической работе № 2

Определить максимальную и минимальную дальность связи в сети доступа PON (с точки зрения перегрузки приёмника), используя данные в таблицах 2.1 и 2.2. Разработать схему организации связи.

Т а б л и ц а 2.1 – Характеристики системы передачи

Параметры		Предпоследняя цифра номера транскрипта									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уровни передачи на волнах, дБм	1.31 мкм	-5	-4	-6	-7	-2	+3	-8	-5	-1	-6
	1.49 мкм	-6	-6	-6	-5	-3	-5	-4	-4	-4	-1
	1.55 мкм	0	+2	-1	+3	-2	0	-4	+3	+2	+1
Чувствительность приёмника на волнах, дБм	1.31 мкм	-36	-32	-38	-30	-34	-39	-31	-33	-35	-37
	1.49 мкм	-29	-27	-31	-28	-26	-25	-24	-23	-22	-21
	1.55 мкм	-26	-28	-25	-29	-21	-24	-30	-31	-28	-19
Порог перегрузки приёмника на волнах, дБм	1.31 мкм	-5	-3	-4	-1	-6	-2	0	-7	+1	+2
	1.49 мкм	-8	-6	-5	-3	-2	0	-4	-1	-10	+1
	1.55 мкм	-9	-7	-6	-8	-4	-3	-5	-2	0	-1

Затухание волокна α на волнах, дБ	1.31 мкм	0,4	0,5	0,55	0,44	0,36	0,38	0,39	0,34	0,31	0,41
	1.49 мкм	0,26	0,27	0,28	0,29	0,24	0,26	0,28	0,23	0,26	0,28
	1.55 мкм	0,19	0,2	0,21	0,22	0,21	0,19	0,2	0,23	0,21	0,23
Затухание 4-х разъёмных соединителей, дБ		1,1	0,56	1,24	1,53	3,3	2,05	2,3	2,1	1,8	0,92

П р и м е ч а н и е:

Уровни передачи по мощности указаны в дБм.

Затухание указано в дБ.

Т а б л и ц а 2.2 – Число отводов в 2-х ступенчатой схеме PON

Параметры		Последняя цифра номера транскрипта									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число отводов от узла PON	1 ступень, n	2	4	6	8	3	5	7	9	12	16
	2 ступень, m	4	8	10	12	6	14	16	4	6	8

2.2. Методические указания

Распределение мощности сигнала в узле ветвления PON считать равномерным и равным:

$$\mathbf{P_i = P_{вх}/n \times m},$$

где n, m – число отводов по ступеням.

При расчёте в формулу подставлять значение мощности, но не уровня мощности.

Нужно для каждой длины волны рассчитать энергетический потенциал:

$$Э = p_{пер} - p_{пр}.$$

Например, уровни передачи и приёма соответственно равны:

$p_{пер}$=0дБм, $p_{пр}$=-31дБм, Э = 0 - (-31) = 31дБ.

Далее необходимо выбрать наименьший из трёх энергетических потенциалов и определить максимальную допустимую дальность, учитывая затухания в разветвителях, в оптоволокне, в разъёмных соединителях.

$\mathbf{L_{максим} = (Э - A_{разв} – A_{разъёмов} - A_{дисп})/\alpha}$, где $\mathbf{A_{разв} \geq 10 lg P_{вх}/P_i}$.

Дисперсионные потери необходимо принять равными для всех вариантов 1дБ.

Для нахождения минимальной длины линии между передатчиком и приёмником необходимо определить энергетический потенциал перегрузки. Этого необходимо найти разность:

$\mathbf{Э_{перегр} = p_{пер} - p_{пр,перегр}}$.

Например, $P_{пер}$=+3дБм, $P_{перегр.\ пр.}$= -5дБм, $Э_{перегр.}$= +3-(-5)=8дБ.

После этого произвести расчёт по формуле для $\mathbf{L_{миним}}$.

Если величина $Э_{перегр.}$ получается со знаком минус, то перегрузки заведомо нет, и расчёт $\mathbf{L_{миним.}}$ производить не надо!

Необходимо учесть, что в обратном канале (1310нм) потери мощности $A_{разв}$ на разветвление не учитываются!

Представить схему организации связи двухступенчатой PON и сделать вывод по заданию.

2.3. Пример решения задачи 2

Определить максимальную и минимальную дальность связи в сети доступа PON. Предоставить схему организации связи.

Т а б л и ц а – 2.3

Исходные данные	Уровни передачи на длинах волн, дБ	Чувствительность приемника, дБ	Порог перегрузки, дБ	Затухание волокна
1.31 мкм	-6	-38	-4	0,55
1.49 мкм	-6	-31	-5	0,28
1.55 мкм	-1	-25	-6	0,21
Затухание 4-х разъемных соединителей			1,24	
Число отводов от узла PON:	- первая ступень n		9	
	- вторая ступень m		4	

Решение:

Энергетический потенциал определится:

Э (1,31 мкм) = $p_{пер} – p_{пр}$ = (-6) – (-38) = 32 дБ;

Э (1,49 мкм) = $p_{пер} – p_{пр}$ = (-6) – (-31) = 25 дБ;

Э (1,55 мкм) = $p_{пер} – p_{пр}$ = (-1) – (-25) = 24 дБ.

Для минимального энергетического потенциала допустимая дальность связи рассчитается по формуле:

$L_{макс}$ = (Э – $\mathbf{A_{разв}}$ – $\mathbf{A_{разъёмов}}$ – $\mathbf{A_{дисп}}$ / α,

,

где затухание разветвителей $\mathbf{A_{разв}}$ = 10 lg (nxm) = 10 lg (9x4) = 15,56 дБ

дисперсионные потери $\mathbf{A_{дисп}}$ =1 дБ.

Для α = 1.55 мкм: $L_{макс}$ = (24-15,56-1,24-1) / 0,21 = 29,5 км.

Энергетический потенциал перегрузки определится:

Э $_{перегр}$ = $p_{пер} – p_{пр\ перегр}$ = (-1) – (-6) = 5 дБ.

Минимальная дальность связи рассчитается по формуле:

$L_{мин} = (Э_{перегр} – A_{разв} – A_{разъемов} – A_{дисп}) / \alpha$.

Для α = 1.55 мкм: $L_{мин}$ = (5-15,56-1,24-1) / 0,21 = -61 км = 0 км.

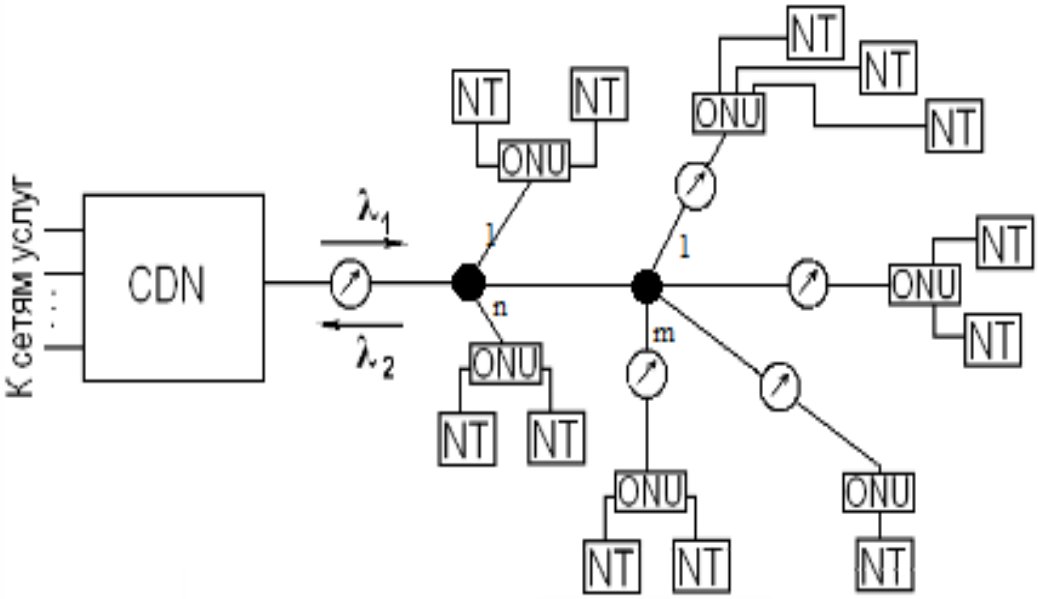

Рисунок 2.1 – Схема организации сети PON

Вывод: Дальность связи зависит от уровня передачи и уровня чувствительности фотоприемника, количества разветвлений сети и затухания волокна на длине волны.

2.4. Письменно ответить на вопросы:

1. Виды услуг в сети доступа.
2. Уровни протокольной модели сети доступа и их назначение.
3. Общая структура сети доступа.
4. Какие системы проводного доступа наиболее распространены?
5. Какие недостатки есть у медных кабелей?
6. Что является харакрактеристиками структурированной кабельной системы
7. Где применяются структурированные кабельные системы (СКС) в сети доступа?
8. Какие коаксиальные кабели можно применять в сетях доступа?
9. Какие типы волоконных кабелей применяются в сетях доступа?
10. В чем заключается преимущество PON при организации широкополосного доступа?
11. В чем основное отличие технологий APON и BPON, EPON и GPON?
12. Сколько было поколений технологий беспроводного доступа?
13. Что входит в состав сети радиодоступа?

14. Чем отличается зона обслуживания от зоны покрытия радиодоступа??

15. Какие стандарты радиодоступа наиболее распространены?

16. Какие факторы влияют на дистанцию оптического доступа в атмосфере?

17. Какие интерфейсы есть в сети доступа?

18. Какие интерфейсы обеспечивают оптический широкополосный доступ в PON?

19. Какие функции управления находятся в сети доступа?

20. Что должно входить в пользовательские терминалы сети доступа?

21. Какие показатели качества услуг есть в электросвязи?

Список литературы

1. Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 288 с.
2. Фокин В.Г. Когерентные оптические сети. Учебное пособие. – СибГУТИ, 2015. – 371 с.
3. Фокин В.Г. Проектирование оптической сети доступа. Учебное пособие. – СибГУТИ, 2012. – 320 с.
4. Колтунов М.Н., Рыжков А.В., Давыдкин П.Н. Тактовая сетевая синхронизация. – М.: Эко-Трендз, 2004.
5. Vinod Mishra Software Defined Network. Copyright © Momentum Press®, LLC, 2019. 104 p.
6. Трещиков В.Н., Листвин В.Н. DWDM-системы. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. – 420 с.
7. Семенов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС. – М.: ДМК Пресс, 2007.
8. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с: ил.
9. Фокин В.Г. Оптические мультиплексоры OADM/ROADM и коммутаторы PXC в мультисервисной транспортной сети. Учебное пособие. – Новосибирск, СибГУТИ, 2011. – 204с.
10. Росляков А.В. Зарубежные и отечественные платформы сетей NGN: учеб. пособие для вузов / А. В. Росляков. – М.: Горячая линия-Телеком, 2014. – 258 с.
11. Гордиенко В.Н. Многоканальные телекоммуникационные системы: Учебник. – М.: Новое поколение, 2005, 2007, 2013. – 751 с.

Содержание

Введение.....	3
1. Расчетно-графическая работа №1. Транспортные сети.....	4
1.1. Задание для РГР № 1.....	4
1.2 Методические указания.....	4
1.3 Пример решения задачи.....	5
1.4 Ответить письменно на вопросы	8
2.Расчетно-графическая работа №2.Расчет сети PON….....	9
2.1 Задание по расчетно -графической работе№2	9
2.2. Методические указания	10
2.3. Пример решения задачи 2	11
2.4. Письменно ответить на вопросы	12
Список литературы	14

Дополнительный план 2021 г. Поз. 10

Байкенов Алимжан Сергеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для магистрантов образовательной программы
7М06201 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»
(Магистратура научного и педагогического направления)

Редактор: Жанабаева Е.Б.
Специалист по стандартизации:Ануарбек Ж.А.

Подписано в печать
Тираж 50 экз.
Объём 1,0 уч.-изд. л.

Формат 60×84 1/16
Бумага типографская № 1
Заказ___Цена 500 тенге

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1