

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Кафедра «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Методические указания по лабораторным занятиям
по дисциплине: «Проектирование и эксплуатация систем передачи»

для студентов очно-заочной и заочной формы обучения

Направление подготовки – 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии
и системы связи
Профиль - Мобильная связь и интернет вещей

Ростов-на-Дону

2022

Методические указания по лабораторным занятиям
по дисциплине: ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМ
ПЕРЕДАЧИ

Составитель: Борисов Б.П., ктн, доцент,

Рассмотрены и одобрены ИТСС.
Протокол от «19» декабря 2022 г. № 5

I ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1.1 Цели и задачи

Данный практикум является основополагающим звеном в изучении принципов построения цифровых систем передачи.

Основная цель практикума – научить:

1. Производить все виды инженерных расчетов, связанных с проектированием и эксплуатацией современных цифровых систем передачи;
2. Работать с основными характеристиками и параметрами цифровых сигналов связи и передачи данных.
3. Эксплуатировать телекоммуникационные средства.

1.2 Общие правила работы в лаборатории

Поскольку все лабораторные занятия рассчитаны на применение компьютеров или лабораторных установок, то при работе в лаборатории студенты должны:

1. Строго соблюдать установленные правила внутреннего распорядка и техники безопасности.
2. Неукоснительно выполнять требования инженерно-технического состава лаборатории.
3. Начало любых видов работ начинать с приема исходного состояния комплекса технических средств на рабочем месте и заканчивать приведением комплекса технических средств в исходное состояние.

1.3 Подготовка к лабораторным занятиям

1. Повторить теоретический материал, относящийся к работе, пользуясь конспектом лекций и указанной литературой;
2. Хорошо уяснить цели работы, программу работы, порядок выполнения работы.

1.4. Порядок проведения лабораторных занятий

1. Уяснение цели и темы лабораторного занятия.
2. Краткое ознакомление с теоретическим материалом по теме занятия с помощью компьютера.
3. Получение от преподавателя индивидуальных исходных данных для выполнения лабораторной работы.
4. Выполнение заданий, расчетов и составление отчета.
5. Защита отчета о лабораторной работе.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

Тема: Изучение приемника синхросигнала цикловой синхронизации ЦСП с ИКМ

1. Цели работы.

Закрепить теоретические знания по организации цикловой синхронизации в сетях PDH и особенностей построения приемников сигналов цикловой синхронизации. Получить практические навыки исследования процессов цикловой синхронизации. Овладеть методикой проектирования структурных схем адаптивных и неадаптивных приемников сигналов цикловой синхронизации.

2. Рекомендации.

Изучить справочный материал в [1] с.232-251

3. Порядок выполнения работы.

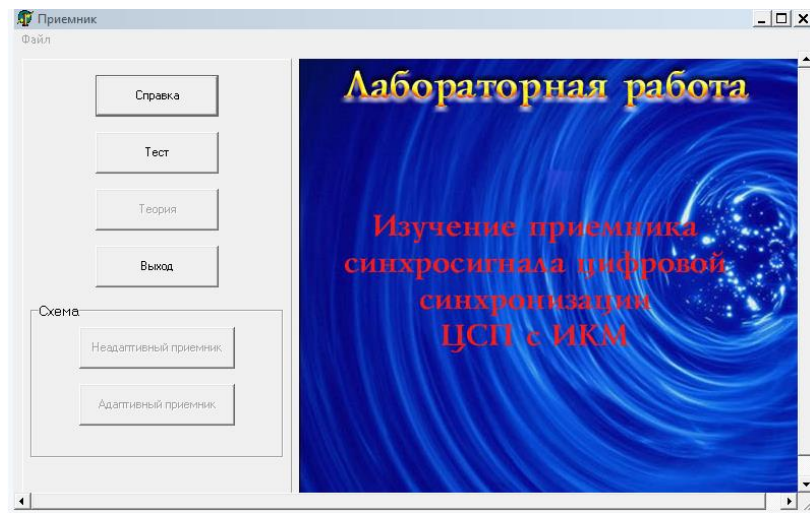
1. Опрос по теоретическому материалу занятия и изучение блока кратких теоретических сведений (с помощью компьютера).
2. Прохождение теста, активирующего программу моделирования.
3. Проведение моделирования с помощью программы.
4. Составление отчета и его защита.

Лабораторная работа выполнена в виде компьютерной программы, позволяющей получить необходимые теоретические сведения, пройти тестирование на их усвоение и, в дальнейшем, провести наглядное моделирование всех шагов работы приемников сигналов цикловой синхронизации.

Задание на выполнение лабораторной работы

Студент должен получить от преподавателя задание, изучить теорию, после успешного тестирования провести моделирование работы адаптивных и неадаптивных приемников сигналов цикловой синхронизации в двух режимах: сбоя синхронизации и режим синхронизации, проанализировать каждый этап их работы, сделать выводы.

Ниже приведены основные этапы работы программы-симулятора.



Определения

В ЦСП цифровой групповой сигнал представляет собой непрерывную последовательность следующих друг за другом циклов.

Цикл передачи - промежуток времени между КИ одноименных каналов.

Для нормальной работы ЦСП должны быть обеспечены следующие виды синхронизации: тактовая, цикловая и сверхцикловая.

Цикловая синхронизация обеспечивает правильное разделение и декодирование кодовых групп цифрового сигнала и распределение декодированных отсчетов по соответствующим

Сверхцикл

Цикл, 125 мкс

К1 К2 ... Кn

Канальный интервал (кодовая группа)

Разряд (инт. позиция)

$T_{\text{ц}} = T_{\text{г}} = 125 \text{ мкс}$ (при $F_{\text{г}} = 8 \text{ кГц}$)

$T_{\text{цс}} = 250 \text{ мкс}$ (при $F_{\text{цс}} = 4 \text{ кГц}$)

$T_{\text{снс}} = 2 \text{ мкс}$ (при $f_{\text{снс}} = 500 \text{ Гц}$)

Особенности синхросигнала

Признаки синхросигнала (СС)

- периодичность следования СС на определенных позициях цикла
- постоянство кодовой комбинации (КК)

Классификация СС

- одnorазрядный
- многоразрядный сосредоточенный
- многоразрядный рассредоточенный

Наибольшее распространение в ЦСП получил способ передачи многоразрядного сосредоточенного СС.

одnorазрядный синхросигнал

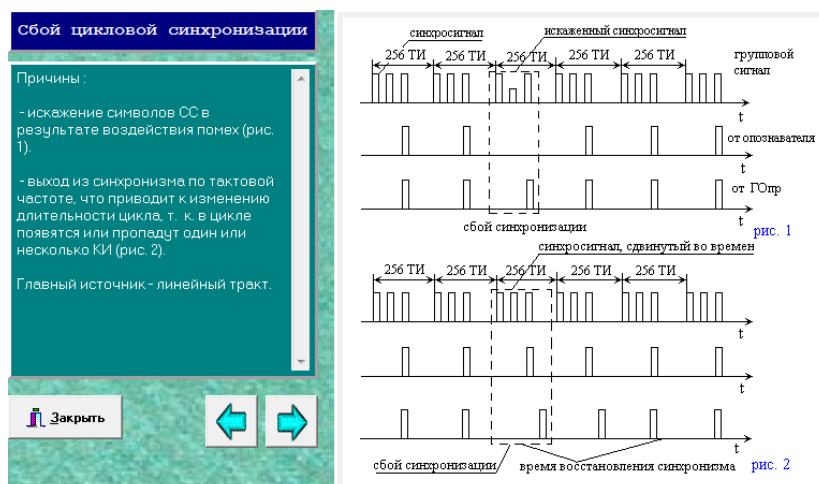
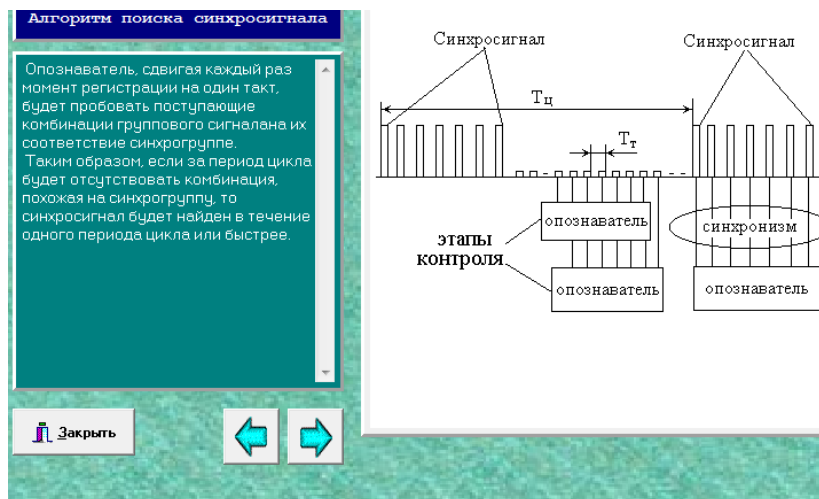
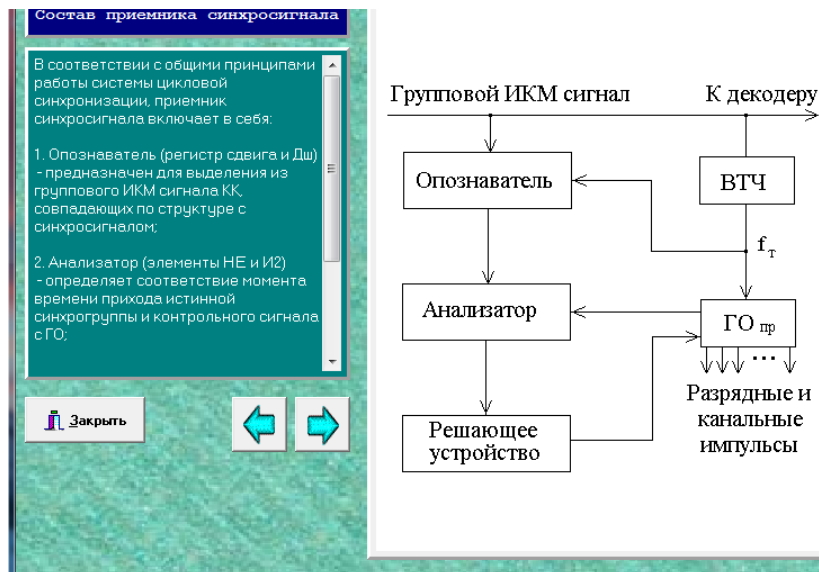
информационные символы

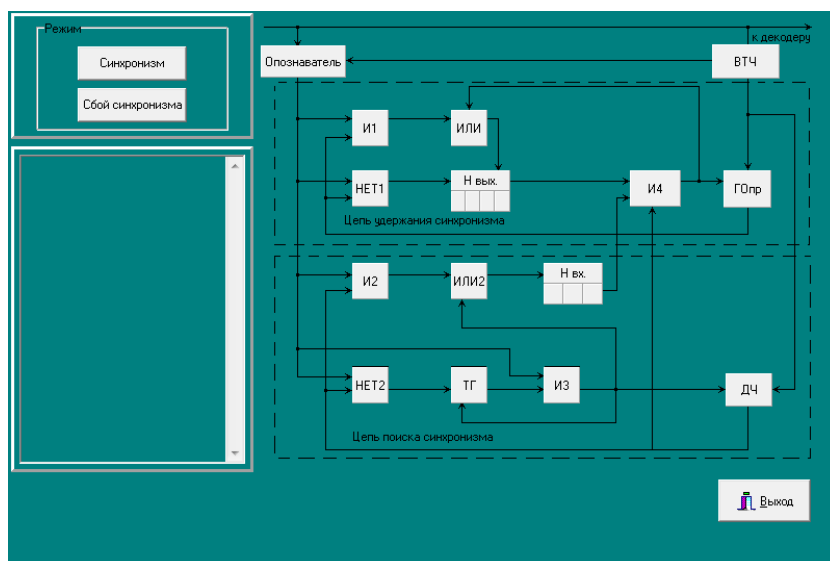
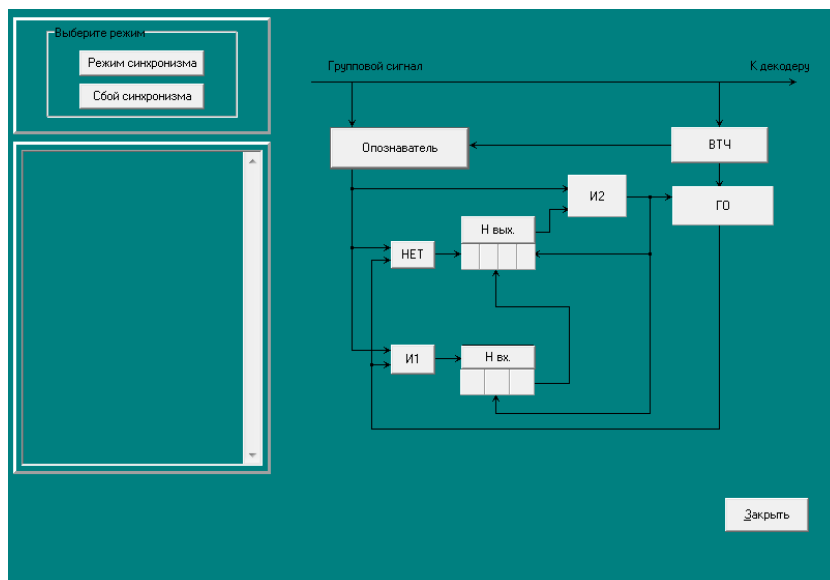
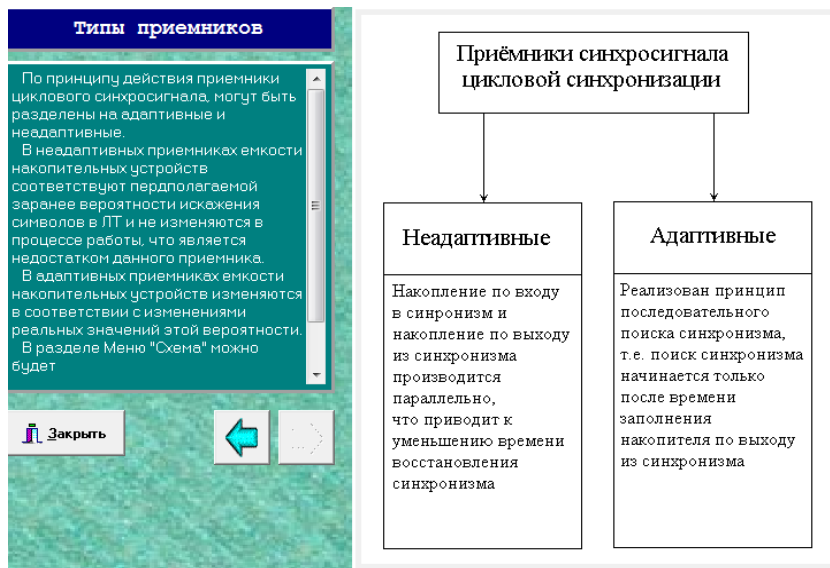
многоразрядный синхросигнал сосредоточенный

информационные символы

многоразрядный синхросигнал рассредоточенный

цикл





4. Контрольные вопросы:

1. Поясните понятие «цикл передачи».
2. Дайте определение цикловой синхронизации.
3. Поясните понятие «признаки синхросигнала».
4. Какие виды синхронизации ЦСП, вы знаете?
5. Какие виды сигналов цикловой синхронизации ЦСП, вы знаете?
6. Поясните, что собой представляет многозарядный сосредоточенный сигнал цикловой синхронизации.
7. Поясните, что собой представляет многозарядный рассредоточенный сигнал цикловой синхронизации.
8. Какие сигналы цикловой синхронизации получили наибольшее распространение в ЦСП?
9. Для чего предназначена система цикловой синхронизации?
10. Перечислите основные части любого приемника системы цикловой синхронизации.
11. Назовите типы приемников системы цикловой синхронизации.
12. Поясните особенности адаптивного приемника системы цикловой синхронизации.
13. Поясните особенности неадаптивного приемника системы цикловой синхронизации.
14. Назовите основные причины сбоя цикловой синхронизации.

Содержание отчета.

Тема, цель занятия. Структурные электрические схемы адаптивного и неадаптивного приемника сигналов цикловой синхронизации. Последовательность этапов работы приемников сигналов цикловой синхронизации в двух режимах: сбой синхронизации и режим синхронизации. Выводы.

5. Литература.

1. В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов. Цифровые системы передачи: Учебное пособие для вузов /Под ред. А.Д. Моченова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 352 с.: ил.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Тема: Спектральное уплотнение ВОЛС

1. Цели работы.

Закрепить знания по структуре мультисервисной сети и линейного тракта ВОСП технологии WDM. Получить навыки исследования процессов в сети WDM. Овладеть методикой расчета необходимого числа оптических усилителей при проектировании участка сети WDM.

2. Рекомендации.

Изучить справочный материал в [1] с. 296-321.

3. Порядок выполнения работы.

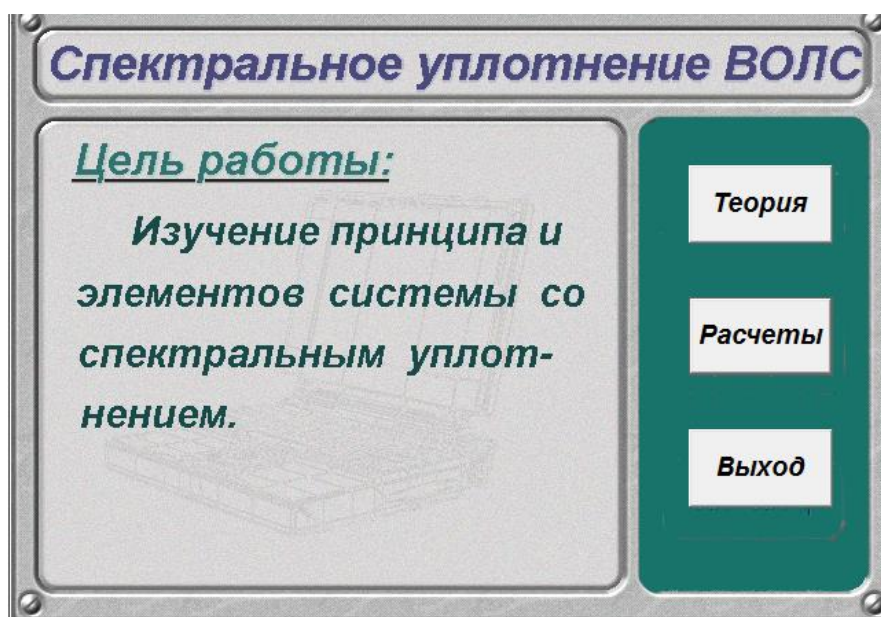
1. Опрос по теоретическому материалу занятия и изучение блока кратких теоретических сведений (с помощью компьютера).
2. Прохождение теста, активирующего программу.
3. Проведение расчетов.
4. Верификация результатов расчета с помощью программы.
5. Составление отчета и его защита.

Лабораторная работа выполнена в виде компьютерной программы, позволяющей получить необходимые теоретические сведения, пройти тестирование на их усвоение провести необходимые расчеты для участка ВОЛС, пройти верификацию результатов расчета.

Задание на выполнение лабораторной работы

Студент должен получить от преподавателя задание, изучить теорию, после успешного тестирования провести расчеты необходимого числа оптических усилителей на участке ВОЛС для своего варианта исходных данных, сделать выводы.

Ниже приведены основные этапы работы программы.



Спектральное уплотнение

Введение

Рост объема передаваемых данных постепенно привел к исчерпанию пропускной способности существующего ОВ.

Для ее увеличения используют следующие методы уплотнения:

- временное;
- пространственное;
- частотное;
- спектральное.

В силу ряда технических и экономических причин наиболее эффективным методом является спектральное уплотнение.

Плюсы **Минусы**

Рынок WDM в США с 1996 по 2000 годы

n-канальные WDM	в 1996 году	к 2000 году
4-х	~80	~100
8-ми	~20	~120
16-ти	~10	~110
32-х	~5	~80

стр.1 стр.2 стр.3 стр.4 стр.5 стр.6 стр.7 стр.8 Тест Меню

Спектральное уплотнение

УВКР

Наиболее заметным явлением для WDM-систем является усиление вследствие комбинационного рассеяния (УВКР).

Оно обусловлено резонансным взаимодействием оптических несущих с оптическими фотонами вещества ОВ. В результате мощность оптических несущих с меньшей длиной волны уменьшается, за счет этого мощность оптических несущих с большими длинами волн увеличивается.

Зависимость относительного приращения мощности в оптическом канале по длине ОВ

z, км	1-й канал	2-й канал	3-й канал	4-й канал	5-й канал	6-й канал
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	~0.05	~0.04	~0.01	~0.01	~-0.02	~-0.04
40	~0.06	~0.05	~0.01	~0.01	~-0.04	~-0.06
60	~0.065	~0.055	~0.01	~0.01	~-0.05	~-0.07
70	~0.068	~0.058	~0.01	~0.01	~-0.055	~-0.075

стр.1 стр.2 стр.3 стр.4 стр.5 стр.6 стр.7 стр.8 Тест Меню

Спектральное уплотнение

Контрольные вопросы

1. Сущность WDM заключается в том, что сигналы от нескольких источников передаются:

- ☐ по разным оптическим волокнам
- ☐ по одному ОВ на разных длинах волн
- ☐ по одному ОВ с задержкой по времени

2. Какая структура МП/ДМП обеспечивает наименьшие потери:

- ☐ многослойный диэлектрик
- ☐ оптическая призма
- ☐ дифракционная решетка

3. При каких условиях может быть обеспечено подавление УВКР:

- ☐ если разнос спектральных несущих < 10 нм
- ☐ при небольшой мощности подводимого излучения
- ☐ если разнос спектральных несущих > 10 нм
- ☐ при объединении 1-го и 2-го вариантов ответа

стр.1 стр.2 стр.3 стр.4 стр.5 стр.6 стр.7 стр.8 Тест Меню

Затухание, вносимое МП

Мультиплексирование, сопутствующее спектральному уплотнению, позволяет увеличить пропускную способность линии передачи, но вносит дополнительные оптические потери, без компенсации которых значительно сокращается длина регенерационного участка.

Для сравнения приведем пример расчета длины регенерационного участка с применением технологии WDM и без.

Используется ОВ марки TrueWave, коэффициент затухания которого $\alpha = 0,22$ дБ/км, а хроматическая дисперсия $\sigma = 1,3$ пс/(нм·км). Максимальное значение L_{py} , ограниченное дисперсией будет одинаковым для обоих вариантов:

$$L_{max, \sigma} \leq \frac{0,25}{\sigma \cdot B} = \frac{0,25}{1,3 \cdot 10^{-12} \cdot 2488 \cdot 10^6} = 77 \text{ (км)}$$

Максимальное значение L_{py} по затуханию:

$$L_{max, \alpha} = \frac{\mathcal{O} \cdot a_H \cdot 2a_P \cdot a_3 \cdot a_{мпн}}{\alpha + a_H / L_c}, \text{ км}$$

где $a_H = 0,1$ дБ и $a_P = 0,5$ дБ - потери в неразъемных и разъемных соединениях ОВ;
 $a_3 = 6$ дБ - эксплуатационный запас;
 $a_{мпн} = 6$ дБ - затухание, вносимое МП/ДМП;
 $L_c = 4$ км - строительная длина кабеля.

	без WDM	с WDM
$L_{max, \alpha}$	$30 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 6 = 93$ $0,22 + 0,1/4$	$30 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot 6 = 69$ $0,22 + 0,1/4$
L_{py}	93 км	77 км

$$L_{py} = \begin{cases} L_{max, \alpha}, & \text{если } L_{max, \alpha} < L_{max, \sigma} \\ L_{max, \sigma}, & \text{если } L_{max, \sigma} < L_{max, \alpha} \end{cases}$$

стр. 1 стр. 2 стр. 3 стр. 4 стр. 5 стр. 6 Задача Меню

Каскад усилителей

Применение линейных усилителей позволяет увеличить дальность передачи без использования регенераторов.

Но при распространении сигнала в линии из каскада усилителей происходит накопление шума. Чем выше скорость передачи системы, тем более жесткие требования она предъявляет к отношению сигнал/шум, что ограничивает число каскада усилителей.

Приведем пример расчета максимально допустимого числа каскада усилителей.

Определим значение отношения сигнал/шум на выходе k -го усилителя по формуле:

$$SNR_k = P_{out sat} \cdot N_{out} \cdot 10 \lg k, \text{ дБ}$$

где $P_{out sat}$ - мощность насыщения, дБм;
 N_{out} - мощность выходного шума, дБм.

Сделаем расчет для усилителя EDFA, с параметрами: $P_{out sat} = 30$ дБм, $N_{out} = 3$ дБм.

$$SNR_1 = 30 \cdot 3 \cdot 10 \lg 1 = 27 \text{ (дБ)}.$$

Аналогично рассчитывается отношение сигнал/шум на выходе 2-го, 3-го и т.д. усилителей.

Составим таблицу значений SNR на выходе k -го усилителя:

k	1	2	3	4	5	6	7
$SNR_k, \text{ дБ}$	27	24	22	21	20	19	18,5

Как видно из таблицы, SNR падает с ростом числа каскадов EDFA.

стр. 1 стр. 2 стр. 3 стр. 4 стр. 5 стр. 6 Задача Меню

Контрольное задание

Полученные значения введите в виде целого числа.

Длина регенерационного участка: км

Число усилителей в каскаде:

Исходные данные:

Используемая аппаратура: STM-16
 Энергетический потенциал: $\mathcal{O} = 32$ дБм
 Затухание оптического волокна: $\alpha = 0,22$ дБ/км
 Хроматическая дисперсия: $\sigma_H = 1,3$ пс/(нм·км)

Мощность насыщения: $P_{out sat} = 28$ дБм
 Мощность выходного шума: $N_{out} = 5$ дБм

Минимальное отношение сигнал/шум для заданной аппаратуры: $18 \cdot 21$ дБ

стр. 1 стр. 2 стр. 3 стр. 4 стр. 5 стр. 6 Задача Меню

4. Контрольные вопросы:

1. Перечислите основные нелинейные эффекты в оптоволокне.
2. В чем измеряются уровни линейного сигнала в тракте ЦСП?
3. Дайте определение абсолютного уровня передачи.
4. Дайте определение относительного уровня передачи.
5. Перечислите основные достоинства WDM.
6. Поясните термин CWDM.
7. Поясните термин DWDM.
8. Поясните термин HWDM.
9. Поясните, в чем суть нелинейного эффекта «вынужденное рассеяние» в технологии WDM.
10. Поясните, почему нелинейный эффект «четырёхволновое смешение» опасен для технологии WDM.
11. Поясните, в чем суть нелинейного эффекта «нелинейное преломление» в технологии WDM.
12. Поясните в чем суть «усиления вследствие комбинационного рассеяния (УВКР)» в технологии WDM.
13. Поясните термин энергетический потенциал.
14. Поясните термин хроматическая дисперсия.
15. Поясните, почему отношение сигнал/шум на выходе оптического усилителя уменьшается по мере роста числа каскадов.

5. Литература.

1. В.В. Крухмалев, В.Н.Гордиенко, А.Д. Моченов. Цифровые системы передачи: Учебное пособие для вузов /Под ред. А.Д. Моченова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 352 с.: ил.