

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

Кафедра «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Методические указания по практическим занятиям  
по дисциплине: «Цифровые системы передачи»

для студентов очной, очно-заочной и заочной форм обучения

Направление подготовки – 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии  
и системы связи

Профиль - Инфокоммуникационные системы и сети

Ростов-на-Дону

2022

Методические указания по практическим занятиям  
по дисциплине: ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Составители: Борисов Б.П. к.т.н, доцент,

Рассмотрены и одобрены  
на заседании кафедры ИТСС.  
Протокол от «28» ноября 2022 г. № 4

# **I ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ 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 практические занятия рассчитаны на применение компьютеров или технических устройств связи, 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 практическим 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 практических занятий*

1. Уяснение цели и темы практического занятия.
2. Краткое ознакомление с теоретическим материалом по теме занятия с помощью компьютера.
3. Получение от преподавателя индивидуальных исходных данных для расчета.
4. Выполнение заданий, расчетов и составление отчета.
5. Верификация результатов.

## II. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

#### Синтез и расчет структур линейных кодов.

##### 1. Цели работы

Закрепить знания по структуре и особенностям используемых линейных кодов. Получить практические навыки расчетов основных показателей линейных кодов. Овладеть методикой синтеза структур линейных кодов, используемых в ЦСП.

##### 2. Рекомендации:

Изучить справочный материал в [1] с.267-277.

##### 3. Порядок выполнения работы:

1. Опрос по теоретическому материалу занятия и изучение блока кратких теоретических сведений (с помощью компьютера).

2. Уяснение задачи, методики расчетов и индивидуальных исходных данных, полученных от преподавателя.

3. Расчеты структур линейных кодов: NPZ, AMI, B3ZS, SMI, PST.

4. Синтез графических отображений структур линейных кодов, соответствующих исходным данным, полученным от преподавателя.

#### Методика расчета:

В таблице 1 представлена кодовая последовательность.

Таблица 1

Y1	Y2	Y3	Y4
1 1 0 1 1 1 1 0	1 0 1 1 0 0 0 0	0 1 1 1 0 0 0 0	1 0 1 0 0 1 0 1

На рисунке 1 представлена последовательность из таблицы 1 в двоичном коде.

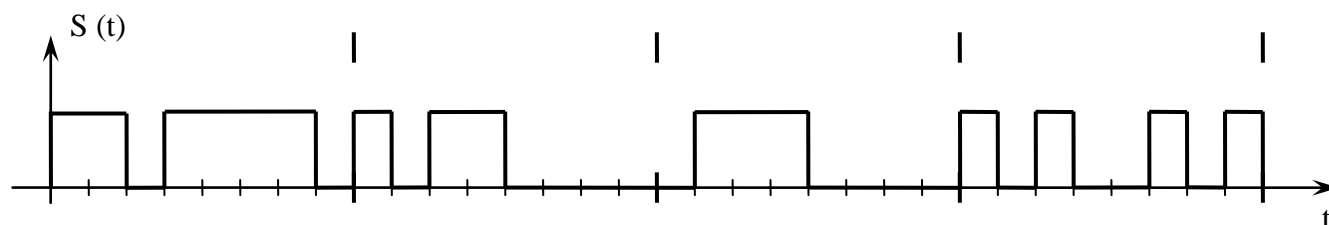


Рисунок.1.

При передаче «1» и «0» исходной информации может использоваться двух любых элементов видеоимпульсного сигнала.

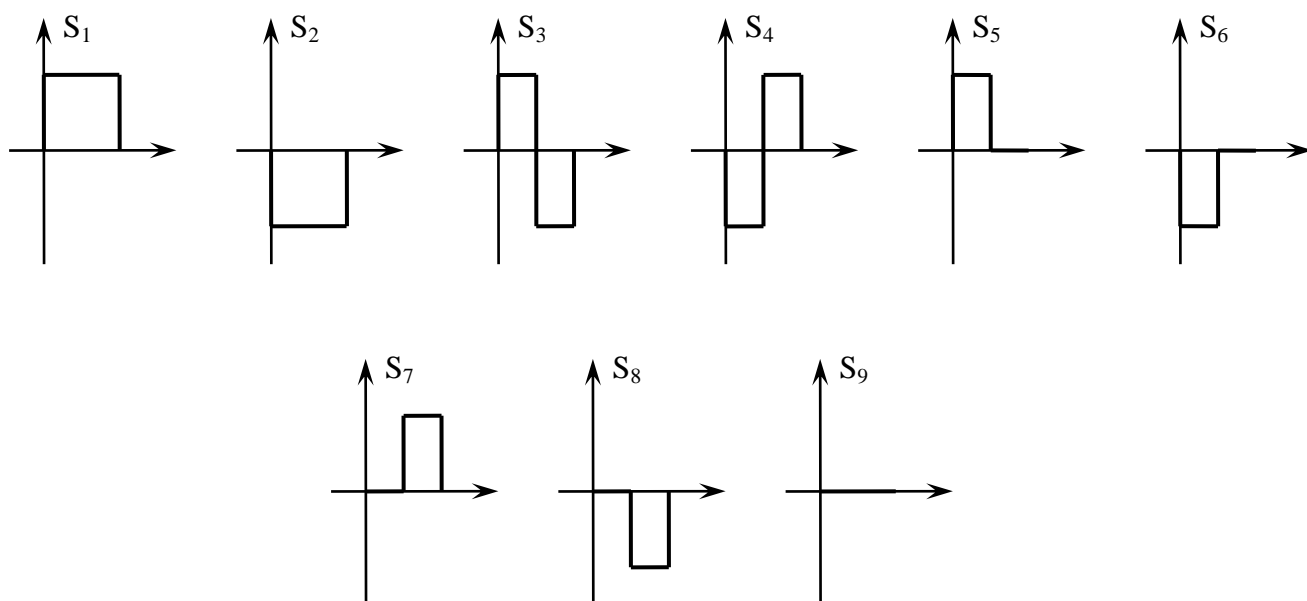


Рисунок 2. Элементы видеоимпульсных сигналов

**Код без возвращения к нулю БВН (NRZ)**

«1» —  $S_1(t)$

«0» —  $S_2(t)$

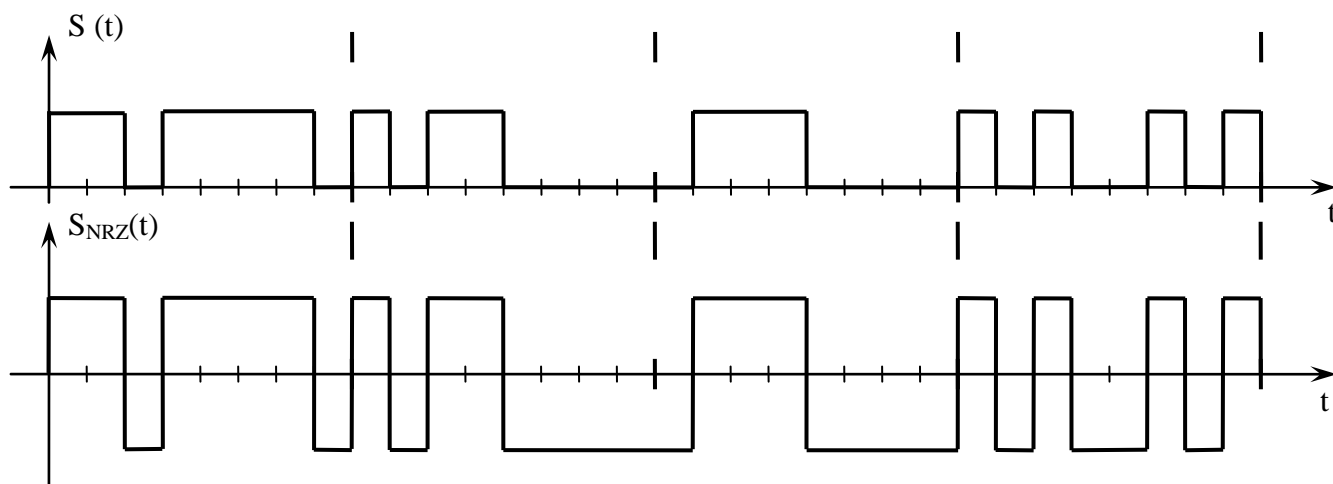


Рисунок 3.

**Код с чередованием полярности импульсов ЧПИ (AMI)**

«1» —  $S_5(t) / S_6(t)$

«0» —  $S_9(t)$

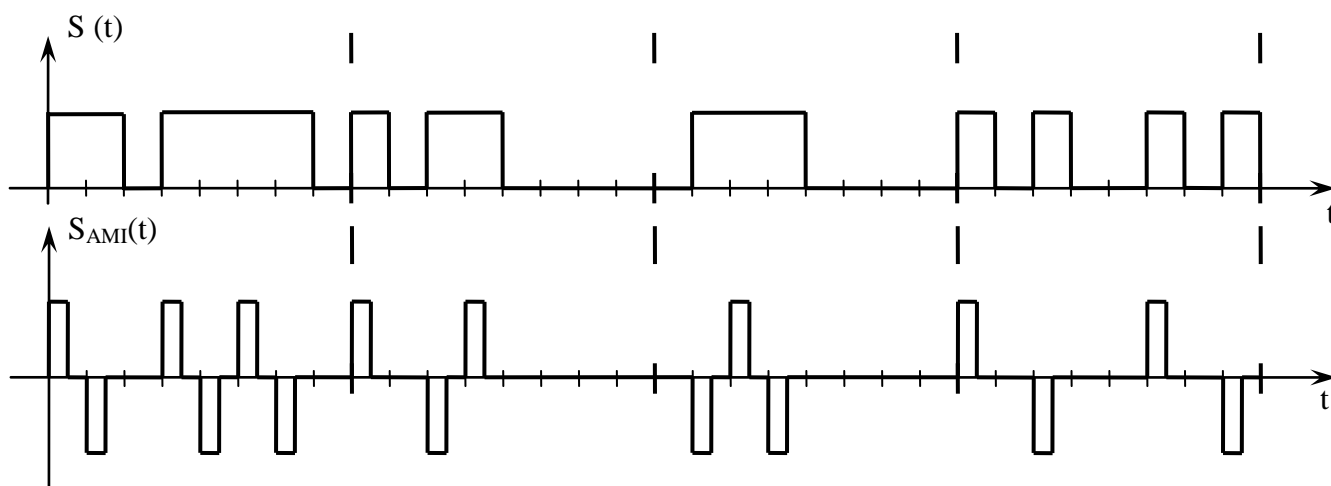


Рисунок 4.

### Код B3ZS

В коде B3ZS осуществляется замена трёх подряд следующих нулей вставками вида 00V или B0V, где **B** – импульс, сохраняющий чередование полярности, а **V** – нарушающий чередование, согласно таблице 2. Выбор той или иной вставки определён условием, по которому между импульсами **V** должно быть нечётное число импульсов **B**.

Таблица 2

Знак предыдущего V-импульса	Число B-импульсов после V-импульса	
	нечётное	чётное
–	0 0 +1	+1 0 +1
+	0 0 –1	+1 0 +1

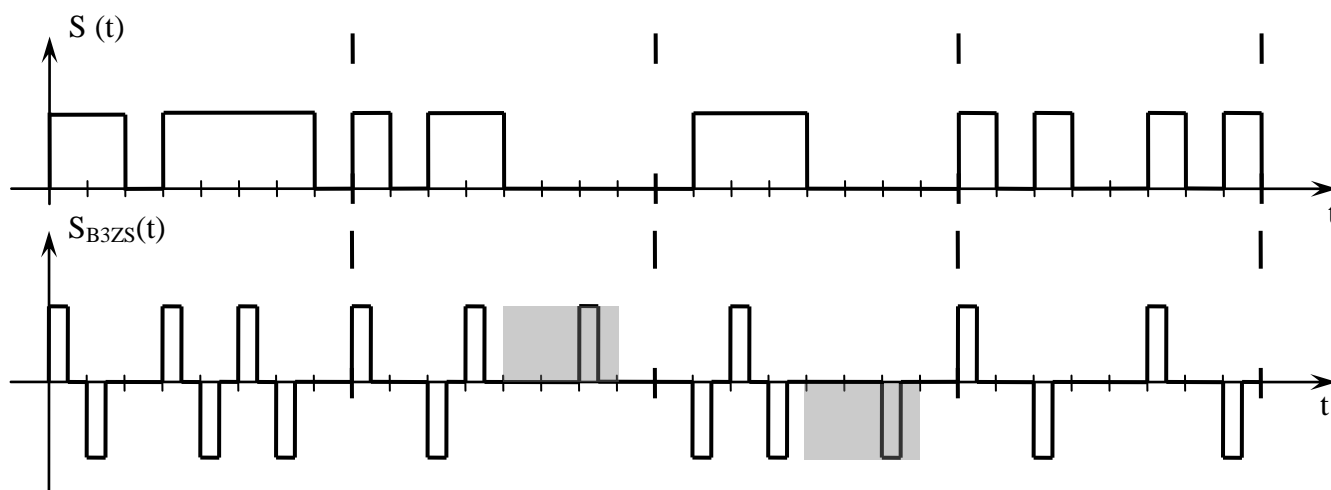


Рисунок 5.

### Код с инверсией токовых посылок ИТП (СМИ)

«1» —  $S_1(t) / S_2(t)$

«0» —  $S_4(t)$

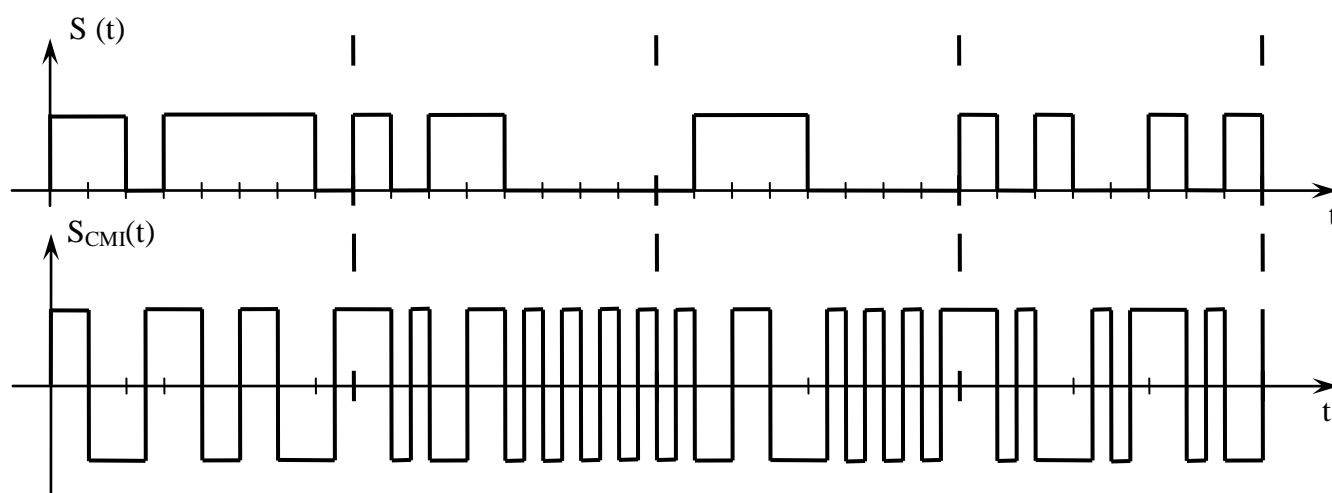


Рисунок 6.

### Парноизбирательный троичный код ПИТ (PST)

При применении парноизбирательного троичного кода исходная последовательность разбивается на пары символов, которые заменяются троичными комбинациями в соответствии с таблицей 3. ПИТ символы передаваемой двоичной последовательности группируются попарно и преобразуются в кодовые группы троичного сигнала в соответствии с таблицей 3. Кодовые комбинации выбираются из одного столбца до тех пор, пока не будет передан одиноким импульс (в комбинации из двух символов, где другой символ равен нулю). В этот момент моды в преобразователе кодов переключаются, и кодовые комбинации выбираются из другого столбца до тех пор, пока не будет передан другой одиночный импульс (противоположной полярности).

Таблица 3

Исходные комбинации	Моды	
	положительная	Отрицательная
00	0 +1	-1 0
01	-1 +1	-1 +1
10	+1 -1	+1 -1
11	+1 0	0 -1

Моды меняют знак после принятия одной единицы закодированной комбинации.

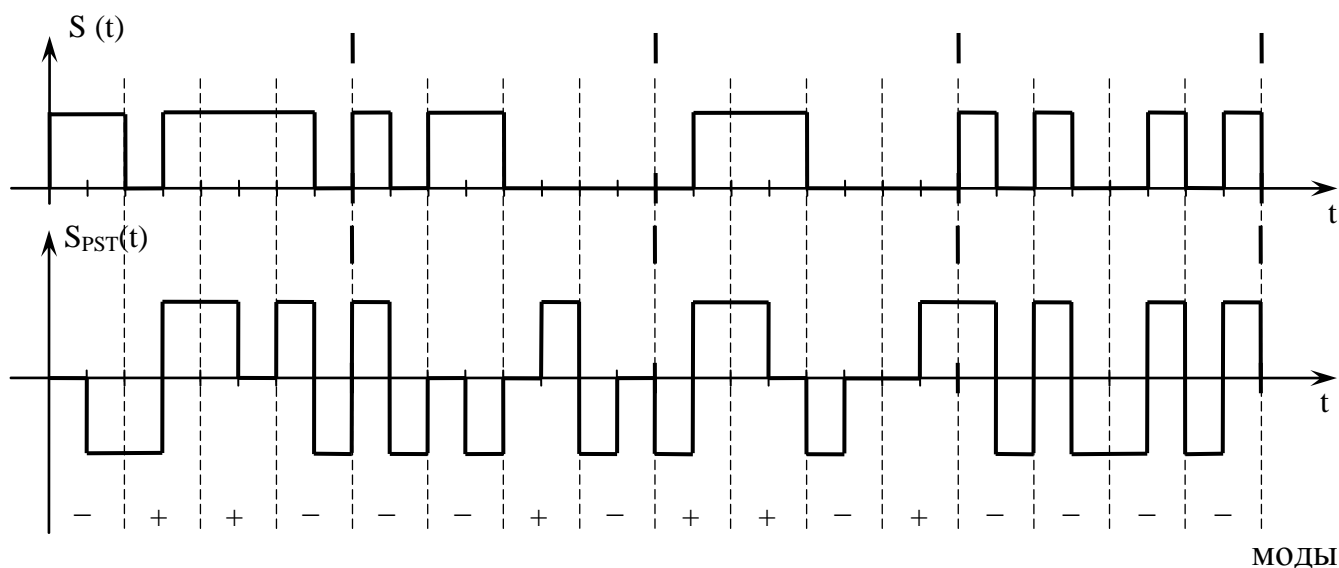


Рисунок 7.  
Таблица заданий по вариантам

№ вариан- та	десятичные числа, соответствующие исходной кодовой комбинации (каждому числу соответствует четырехпозиционный двоичный эк- вивалент)							
1	7	12	15	0	1	4	12	3
2	5	7	0	4	12	11	9	1
3	2	4	0	3	10	7	6	9
4	5	6	2	0	4	12	6	3
5	6	7	4	0	2	0	4	7
6	7	3	3	3	0	3	2	15
7	9	12	1	4	4	7	0	4
8	13	8	9	11	8	0	1	2
9	11	9	0	2	15	7	7	8
10	15	2	7	0	3	4	6	2

#### 4. Контрольные вопросы:

1. Поясните термин и суть кода B3ZS.
2. Поясните термин и суть кода PST.
3. Поясните термин и суть кода CMI
4. Поясните термин и суть кода AMI
5. Поясните термин и суть кода NPZ
6. Дайте характеристику линейных кодов ЦСП.
7. Поясните, почему в линии используются коды с нулевой постоянной составляющей в спектре.



8. Поясните спектральный состав линейного сигнала ЦСП.
9. Поясните, зачем используются биимпульсы укороченной в два раза длительности относительно длительности бита информационного импульса.
10. Поясните функции кодера передачи в аппаратуре ЦСП.
11. Поясните функции декодера приема в аппаратуре ЦСП.
12. Перечислите основные требования к коду передачи.
13. Перечислите основные характеристики кодов.
14. Поясните физическую суть работы выделителя тактовой частоты.

## **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.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

### Расчет размещения регенерационных пунктов для ЦСП по электрическим кабелям.

#### 1. Цели занятия:

Закрепить знания по структуре и особенностям построения линейного тракта ЦСП. Получить практические навыки расчетов регенерационных участков ЦСП по электрическим кабелям. Овладеть методикой построения диаграммы уровней передачи магистральной.

#### 2. Рекомендации:

Изучить материал в [1]с.280-286, в [2]с.93-94, 97-107.

#### 3. Порядок выполнения работы:

1. Опрос по теоретическому материалу занятия и изучение блока кратких теоретических сведений (с помощью компьютера).

2. Уяснение задачи, методики расчетов и индивидуальных исходных данных, полученных от преподавателя.

3. Расчеты: длины РУ, количества РУ внутри секции ДП, необходимого числа НРП, затухания регенерационных участков, величины усиления корректирующего усилителя.

4. Построение диаграммы уровней передачи для первых трех участков.

### Исходные данные

Исходные данные										
№ варианта	$\alpha_l$	$t_{max}$	$\alpha_a$	$L_{ДП}$	$L_{маг}$	$A_{ДТ}$	$U_{пер}$	$U_m$	$Z_a$	$Z_{РУ}$
1	5,35	+15	$2 \cdot 10^{-3}$	200	600	0,5	3	5	600	600
2	4,954	+12	$2 \cdot 10^{-3}$	180	620	1,0	3	5	590	590
3	5,388	+13	$2 \cdot 10^{-3}$	190	590	0,8	3	5	595	595
4	5,233	+16	$2 \cdot 10^{-3}$	170	580	0,9	3	5	580	580
5	5,430	+10	$2 \cdot 10^{-3}$	175	610	1,2	3	5	585	585
6	4,995	+17	$2 \cdot 10^{-3}$	160	570	1,3	3	5	605	605
7	5,122	+16	$2 \cdot 10^{-3}$	150	560	1,5	3	5	610	610
8	5,130	+9	$2 \cdot 10^{-3}$	165	585	1,1	3	5	615	615
9	5,287	+11	$2 \cdot 10^{-3}$	185	575	1,25	3	5	585	585
10	4,911	+12	$2 \cdot 10^{-3}$	195	590	1,3	3	5	580	580

Примечание: Для всех вариантов - поток ЕЗ (ИКМ 480). По результатам расчетов построить диаграмму уровней передачи для первых трех участков

НРП-1/1, НРП-2/1, НРП-3/1, имея в виду следующее предположение: первый участок имеет номинальную длину, второй – на 10% короче, а третий – на 5% длиннее номинального.

#### Контрольные вопросы:

1. Дать определение регенерационного участка.
2. Дать определение секции дистанционного питания.
3. От чего зависит вероятности ошибки регенератора?
4. Назвать основные структурные элементы цифрового линейного тракта.
5. Основные функции регенератора.
6. От чего зависит затухание регенерационных участков?
7. От чего зависит длина регенерационного участка?
8. Что такое «глаз-диаграмма»?
9. Основные параметры ЛЦС и их физическая сущность.
10. Назовите основные причины искажения сигналов в цифровых линейных трактах (ЦЛТ).
11. Основные требования, предъявляемые к структуре линейного цифрового сигнала (ЛЦС). Их физическая сущность.

#### 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.
2. Е.Б. Алексеев, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев и др. Проектирование и эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов/ Под ред. В.Н.Гордиенко и М.С. Тверецкого. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 392 с.: ил.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3.**

### **Синхронная цифровая иерархия SDH**

**1. Цели занятия:** Изучение принципов формирования синхронного транспортного модуля из трибутарных потоков различных уровней плезиохронной цифровой иерархии; изучение методов организации и структур информационных блоков, образуемых по пути формирования синхронного транспортного модуля; изучение работы указателей на отдельных этапах формирования синхронного транспортного модуля; изучение способов размещения абонентских информационных байтов в структуре синхронного транспортного модуля.

**2. Рекомендации:**

Изучить материал в [1]с.157-166.

**3. Порядок выполнения работы:**

1. Опрос по теоретическому материалу занятия и изучение блока кратких теоретических сведений (с помощью компьютера).
2. Уяснение задачи.
3. Изучение теоретического материала, изложенного в разделе «Теория» программы.
4. Прохождение программного теста.
5. Выполнение задания, заключающегося в правильном заполнении таблицы-схемы преобразований в синхронной цифровой иерархии для всех основных видов трибутарных потоков плезиохронной цифровой иерархии.

**4. Контрольные вопросы:**

1. Назовите основные элементы иерархии систем передачи технологии SDH.
2. Назовите синхронные транспортные модули.
3. Назовите скорости передачи всех STM- N. кбит/с.
4. Поясните алгоритм преобразования потоков C11.
5. Поясните алгоритм преобразования потоков C12.
6. Поясните алгоритм преобразования потоков C2.
7. Поясните алгоритм преобразования потоков C3.
8. Поясните алгоритм преобразования потоков C4.
9. Поясните алгоритм формирования трибутарного блока TU-12.

10. Поясните алгоритм формирования трибутарного блока TU-3.
11. Поясните алгоритм формирования блока AU-4» .
12. Поясните способы размещения абонентских информационных байтов в структуре STM.
13. Поясните работу указателей на отдельных этапах формирования STM.

## **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.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4**

### **Мультиплексор ввода-вывода МЦП-155К**

**1. Цели занятия:** Изучение структурной схемы канального мультиплексора синхронной иерархии. Изучение рабочих параметров мультиплексора МЦП155К. Изучение принципа работы мультиплексора МЦП155К.

**2. Рекомендации:**

Изучить материал в [1]с.167-175, [2]с. 2-20.

**3. Порядок выполнения работы:**

1. Опрос по теоретическому материалу занятия.
2. Уяснение задачи.
3. Изучение назначения и технических данных мультиплексора МЦП155К.
4. Изучение состава и назначения внешних интерфейсов, модулей и портов оборудования МЦП155К.
5. Проверка состояния индикаторов на базовом блоке мультиплексора МЦП155К.
6. Проверка параметров конфигурации в функциональных блоках.
7. Проверка состояния счетчиков модуля и счетчиков базового блока.
8. Проверка аварийных сообщений функциональных групп.
9. Проведение 15-и минутного тестирования контрольных точек по указанию преподавателя.
10. Просмотр журнала текущих событий.
11. Измерение номинального остаточного затухания четырехпроводного канала ТЧ.
12. Составление отчета по занятию.

**4. Контрольные вопросы:**

1. Назначение мультиплексора ввода-вывода МЦП-155К.
2. Назовите основные узлы мультиплексора ввода-вывода МЦП-155К.
3. Назовите основные технические характеристики мультиплексора ввода-вывода МЦП-155К.
4. Назовите элементы конструкции мультиплексора ввода-вывода МЦП-155К.
5. Назовите состав и назначение внешних интерфейсов, модулей и портов оборудования МЦП-155К.
6. Назовите перечень аварийных сообщений.

7. Поясните виды и суть контроля параметров ошибок сетевых трактов.
8. Поясните сигналы местной аварийной сигнализации.
9. Какова максимальная скорость передачи в Мбит/с.?
10. Назовите используемый линейный код в оптическом тракте.
11. Поясните вид оптического стыка.
12. Назовите используемую длину волны в нм.
13. Назовите вид используемого соединителя.
14. Поясните суть аварийного сообщения ES – (секунда с ошибками).
15. Поясните суть аварийного сообщения SES – (секунда с большим количеством ошибок).
16. Поясните суть аварийного сообщения UAS – (недоступные секунды) – количество недоступных секунд;
17. Поясните суть аварийного сообщения BBE – (блок с фоновыми ошибками)

## **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.
2. Герасимов И.Н. Методические указания по практическому занятию № 4 по дисциплине «Цифровые системы передачи» - Мультиплексор ввода-вывода МЦП-155К. СКФ МТУСИ, 2016.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

### Оценка параметров линейного тракта цифровой ВОЛС. Инженерный расчет основных показателей ВОЛП

#### 1. Цели занятия:

1. Закрепить знания по структуре и особенностям построения линейного тракта ВОСП технологии SDH.
2. Получить практические навыки расчетов параметров магистральной ВОСП.
3. Овладеть методикой расчетов основных параметров магистральной ВОСП.

#### 2. Рекомендации:

Изучить материал в [1]с.296-308, [2]с. 108-111

#### 3. Порядок выполнения работы:

1. Опрос по теоретическому материалу занятия.
2. Уяснение задачи.
3. По индивидуальным исходным данным, приведенным в методических указаниях к занятию рассчитать: длину регенерационного участка (или элементарного кабельного участка – ЭКУ); мощность основных шумов оптического линейного тракта: дробовых, темновых и собственных.  
Построить диаграмму уровней и распределение энергетического потенциала по длине регенерационного участка.

Ниже приведена таблица исходных данных для расчетов по вариантам.

№ варианта	Параметры	SMA-4 Siemens					ОКЛ-01		
		$P_{\text{пер}},$ дБм	$P_{\text{пр мин}},$ дБм	$A_{\text{ру макс}},$ дБ	$\sigma_{\text{п}},$ пс/нм	$\Delta\lambda,$ нм	$\alpha,$ дБ/км	$\sigma_{\text{в}},$ пс/нм·км	$L_{\text{стр}},$ км
	Параметры для примера	-4	-34	32	2500	0,5	0,22	18	2
1	Значения параметров для вариантов	-5	-33	33	2550	0,5	0,23	17	3
2		-5,5	-32	34	2450	0,5	0,24	19	2
3		-4,5	-34	35	2400	0,5	0,25	16	3
4		-5,5	-35	33	2600	0,5	0,21	19,5	2
5		-3,5	-31	35	2450	0,5	0,20	15	3



6		4	-32	32	2550	0,55	0,21	16,5	2
7		-4,5	-33	32	2450	0,56	0,22	16	3
8		-5,0	-34	33	2560	0,52	0,21	19	3
9		-4	-34	33	2550	0,53	0,22	18	3
10		-3,5	-32	34	2450	0,54	0,20	15,5	3

#### 4. Контрольные вопросы:

1. Чем определяется длина регенерационного участка?
2. Как рассчитывается мощность дробовых шумов оптического линейного тракта?
3. Как рассчитывается мощность темновых шумов оптического линейного тракта?
4. Как рассчитывается мощность собственных шумов оптического линейного тракта?
5. Как рассчитывается вероятность ошибки?
6. Как рассчитывается быстродействие волоконно-оптической системы передачи?
7. Перечислите и поясните долговременные и оперативные показатели ошибок цифровых каналов и трактов.
8. Перечислите и поясните показатели надежности каналов и трактов.
9. Поясните параметр оптического кабеля: коэффициент затухания  $\alpha$ , дБ/км.
10. Поясните параметр оптического кабеля: среднеквадратическое значение дисперсии оптического волокна  $\sigma_v$ , пс/нм·км.
11. Поясните, что такое дисперсия оптического волокна?

#### 5. Литература.

1. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов / Под редакцией В.Н. Гордиенко и М.С. Тверецкого. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. - 392 с.: ил.
2. Е.Б. Алексеев, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев и др. Проектирование и эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов/ Под ред. В.Н. Гордиенко и М.С. Тверецкого. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 392 с.: ил.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6 (ПРОДОЛЖЕНИЕ).**

### **Оценка параметров линейного тракта цифровой ВОЛС. Инженерный расчет основных показателей ВОЛП**

#### **1. Цели занятия:**

1. Закрепить знания по структуре и особенностям построения линейного тракта ВОСП технологии SDH.
2. Получить практические навыки расчетов параметров магистральной ВОСП.
3. Овладеть методикой расчетов основных параметров магистральной ВОСП.

#### **2. Рекомендации:**

Изучить материал в [1]с.296-308, [2]с. 111-124.

#### **3. Порядок выполнения работы:**

1. Опрос по теоретическому материалу занятия.
2. Уяснение задачи.
3. По индивидуальным исходным данным, в качестве которых используются результаты расчетов прошлого занятия (практического занятия №5) рассчитать: вероятность ошибки или коэффициент ошибки одиночного регенератора; быстродействие волоконно-оптической системы передачи; долговременные и оперативные показатели ошибок цифровых каналов и трактов; показатели надежности каналов и трактов.

#### **4. Контрольные вопросы:**

1. Чем определяется длина элементарного кабельного участка?
2. Каковы основные параметры оптического кабеля?
3. Как рассчитывается коэффициент готовности тракта?
4. Как рассчитывается коэффициент простоя тракта?
5. Перечислите и поясните долговременные и оперативные показатели ошибок цифровых каналов и трактов.
6. Поясните понятие ширины спектра источника излучения.
7. Поясните параметр оптического кабеля: коэффициент затухания  $\alpha$ , дБ/км.
8. Поясните тип линейного кода, используемого в ВОЛС.
9. Поясните, что означает термин код NRZ со скремблированием.
10. Поясните, что означает термин скорость оптического сигнала В.

11. Поясните, что означает термин порог перегрузки приемного устройства.
12. Поясните, что означает термин чувствительность фотоприемника.

## **5. Литература.**

1. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов / Под редакцией В.Н. Гордиенко и М.С. Тверецкого. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. - 392 с.: ил.
2. Е.Б. Алексеев, В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев и др. Проектирование и эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов/ Под ред. В.Н. Гордиенко и М.С. Тверецкого. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 392 с.: ил.