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
к выполнению практических занятий

по дисциплине
«Многоканальные телекоммуникационные системы»

(для студентов по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи профиль Мобильная связь и интернет вещей)

Ростов-на-Дону
2022

УДК

Составители: доцент кафедры ИТСС Борисов Б.П.

Данное методическое пособие предназначено для обеспечения проведения практических занятий со студентами направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиля Мобильная связь и интернет вещей, квалификации «бакалавр».

Пособие обеспечивает получение практических навыков по основополагающим вопросам изучаемой дисциплины.

Объем методического пособия определен программой по дисциплине «Многоканальные телекоммуникационные системы» для студентов дневного факультета. Данное пособие может так же использоваться при проведении практических занятий студентами очно-заочной и заочной форм обучения.

Рецензент: Зав. кафедрой ИТСС, к.т.н., доцент Юхнов В.И.

Методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры ИТСС «19» декабря 2022 г. Протокол № 5.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Организация и проведение практических занятий…… 4
2 Практическое занятие № 1. Построение линейного спектра…… 5
3 Практическое занятие № 2. Преобразования сигнала электросвязи……... 8
4 Практическое занятие № 3. Формирование группового цифрового сигнала……. 13
5 Практическое занятие № 4. Расположение контейнеров синхронного транспортного модуля …… 17
6 Практическое занятие № 5. Кодирование линейных сигналов PDH…….. 21
7 Практическое занятие 6. Прохождения линейных сигналов по цифровым линейным трактам с использованием электрического кабеля …… 25
8 Практическое занятие 7. Изучение основ техника–лингвистического обеспечения ВОСП технологии SDH ……... 30
9 Практическое занятие 8. Изучение процесса формирования синхронного транспортного модуля STM-1……. 46
10 Практическое занятие 9. Выбор параметров оптических секции транспортных сетей связи …… 65
11 Практическое занятие 10. Расчет длины регенерационного участка ЦСП по ВОЛС. 69
12 Практическое занятие 11. Технология спектрального разделения…… 74

1 Организация и проведение практических занятий

Цели практических занятий:

- помочь обучающимся систематизировать, закрепить и углубить знания теоретического характера;
- научить студентов приемам решения практических задач, способствовать овладению навыками и умениями выполнения расчетов, графических и других видов заданий;
- научить их работать с книгой, служебной документацией и схемами, пользоваться справочной и научной литературой;
- формировать умение учиться самостоятельно, т.е. овладевать методами, способами и приемами самообучения, саморазвития и самоконтроля.

Практические занятия — метод репродуктивного обучения, **обеспечивающий связь теории и практики, содействующий выработке у** студентов умений и навыков применения знаний, полученных на лекции и в ходе самостоятельной работы.

Практические занятия играют важную роль в выработке у студентов навыков применения полученных знаний для решения практических задач совместно с преподавателем.

Структура практических занятий:

1. Вступление преподавателя – 5мин.
2. Ответы на вопросы студентов по неясному материалу – до 10 мин. вначале и далее по мере необходимости.
3. Практическая часть – до 160 мин.
4. Заключительное слово преподавателя – до 5мин.

Практические занятия представляют собой занятия по решению различных прикладных задач, теоритический материал для которых был дан на лекциях. В итоге у каждого обучающегося должен быть выработан определенный профессиональный подход к решению каждой задачи и интуиция. На практические занятия выносятся четыре задачи. Преподаватель стремится к тому, чтобы занятие давало целостное представление о предмете и методах изучаемой дисциплине, причем методическая функция выступает здесь в качестве ведущей.

Практическое занятие 1

Построение линейного спектра

Задание

Построить линейный спектр для 60-ти каналов

Исходные данные:

1. 60 сигналов тональной частоты.
2. Индивидуальных несущих:

- 3;
-12.

Краткие теоретические сведения

Необходимость многократного преобразования вытекает из следующих простых рассуждений. Пусть требуется разработать СП с ЧРК на число каналов тональной частоты N = 60, линейный спектр которой занимает полосу частот от 12 до 252 кГц.

Наиболее просто сформировать линейный спектр одной ступенью преобразования, подавая на каждый канальный модулятор (КМ) первичный телефонный сигнала с полосой частот 0,3...3,4 кГц и свою несущую частоту: на первый канал f1 = 12 кГц, на второй канал f2 = 16 кГц и так далее через 4 кГц, на шестидесятый канал подается несущая частота f60 = 248 кГц, и выделяя верхнюю боковую полосу частот. Для первого канала это будет 12,3... 15,4 кГц, для второго -16,3... 19,4 кГц и так далее, для шестидесятого 248,3...251,4 кГц. Канальные полосовые фильтры (КПФ) для каналов, занимающих полосу частот до 30 кГц, могут быть реализованы на LC-элементах; от 30 до 60 кГц нет соответствующей элементной базы, реализующей КПФ отвечающих требованиям к величине крутизны характеристики затухания в ПЭЗ; в полосе частот от 60 до 110 кГц КПФ могут быть реализованы на основе кварцевых или магнитострикционных резонаторов; в полосе частот от 130 до 200 кГц возможно применение электромеханических или пьезокерамических фильтров. Следовательно, такой способ формирования линейного спектра приводит к значительной разнотипности КПФ, реализованных на различной элементной базе, т.е. требуются 60 различных фильтров с разной элементной базой. Это усложняет производство и эксплуатацию каналообразующего оборудования СП с ЧРК.

Возможно и другое формирование линейного спектра. Для реализации канальных полосовых фильтров выбирается диапазон частот, являющийся оптимальным для конкретной элементной базы и в пределах которого формируется n1 канальных сигналов ОБП, занимающих не перекрывающие полосы частот. Ступень формирования группового сигнала на n1 канальных сигналов называется ступенью индивидуального преобразования. Отметим, что число каналов на ступени индивидуального преобразования n, кратно числу каналов N СП с ЧРК. Следующие ступени преобразования являются групповыми и предназначаются для создания из n2 одинаковых по спектру n1 - канальных групповых сигналов общего группового q-канального сигнала (где q = n1n2), затем для создания из n3 одинаковых по спектру q-канальных групповых сигналов общего группового N-канального сигнала (где N =q n3 =n1n2n3) и т.д. Последняя ступень группового преобразования предназначается для преобразования спектров полученных многоканальных групповых сигналов, содержащих

необходимое число канальных сигналов, в линейный спектр СП с ЧРК, предназначенный для передачи по линии. Структурная схема, поясняющая принцип многократного преобразования частоты, показана на рисунке 1.1.

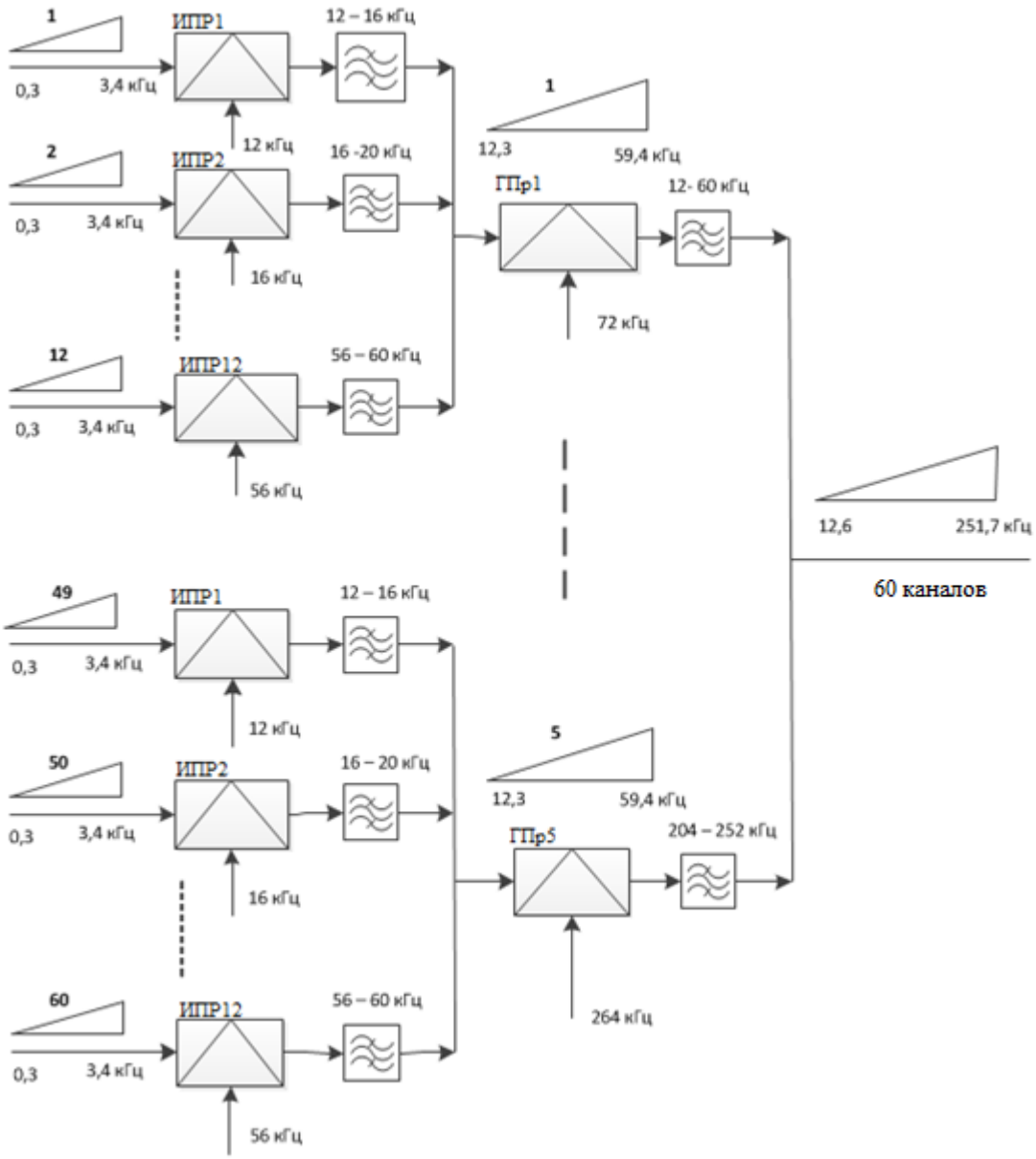


Рисунок 1.1 - Принцип многократного преобразования частоты

Оконечная аппаратура всех многоканальных систем передачи строится на основе типовой преобразовательной аппаратуры. При создании этой аппаратуры учитывалась практика построения ее в других странах и рекомендации МККТТ, так как она должна обеспечивать организацию как национальной, так и международной сети связи. Поэтому в типовой преобразовательной аппаратуре в настоящее время, принято следующее группообразование. В качестве первичной группы используется 12-канальная группа. Вторичная группа формируется путем объединения пяти первичных групп.

Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схему частотных преобразований.
4. Структурную схему многоканальной системы передачи.
5. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какие преобразования выполняются при построении линейного спектра?
2. Для чего используются несущие частоты?
3. Назначение полосы расфильтровки.
4. Какими способами можно реализовать построение линейного спектра?
5. Какую задачу выполняют полосовые фильтры?
6. Что является определяющим при построении линейного спектра?

Список рекомендованных источников

1. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.
2. Крухмалев В.В., Гордиенко В.М., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи. Учебное пособие для вузов / под редакцией А.Д. Моченова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012.
3. Цифровые и аналоговые системы передачи. Учебник для вузов / под редакцией В.И. Иванова – 2-ое издание – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.

Практическое занятие 2

Преобразования сигнала электросвязи

Задание

Преобразовать исходный телефонной сигнал для передачи в цифровом виде.

Исходные данные для задания представлены в таблице 2.1.:

Таблица 2.1 – Параметры сигнала для преобразований

Вид сигнала	$U_0\sin(\omega t+\varphi_0)$
Исходный сигнал	Гармонический
Частота, Гц	1100
Амплитуда U_0, В	3
Начальная фаза φ_0, град	0
Число разрядов при кодировании	3

Краткие теоретические сведения

Для преобразования любого аналогового сигнала (звука, изображения) в цифровую форму необходимо выполнить три основные операции: дискретизацию, квантование и кодирование.

Принцип формирования цифрового группового сигнала представлен на рисунке 2.1.

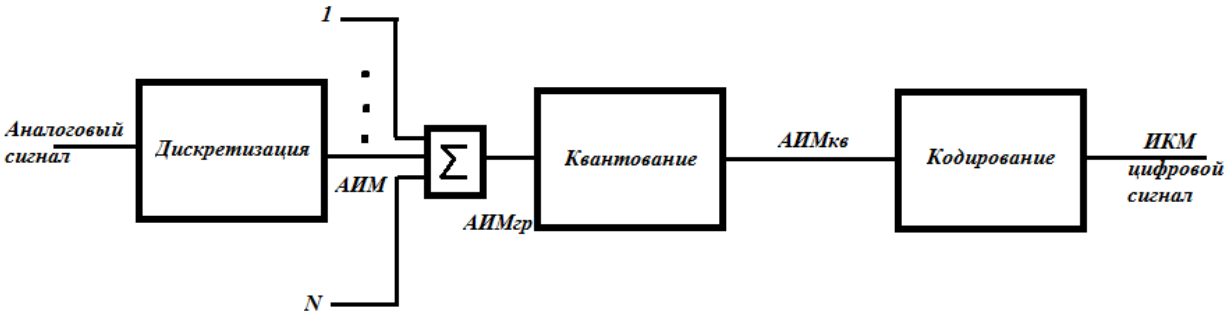


Рисунок 2.1 - Принцип формирования цифрового группового сигнала

Дискретизация - представление непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений (отсчетов). Эти отсчеты берутся в моменты времени, отделенные друг от друга интервалом, который называется интервалом дискретизации. Величину, обратную интервалу между отсчетами, называют частотой дискретизации. На рисунке 2.2 показаны исходный аналоговый сигнал и его дискретизированная версия. Картинки, приведенные под временными диаграммами, получены в предположении, что сигналы являются телевизионными видеосигналами одной строки, одинаковыми для всего телевизионного растра.

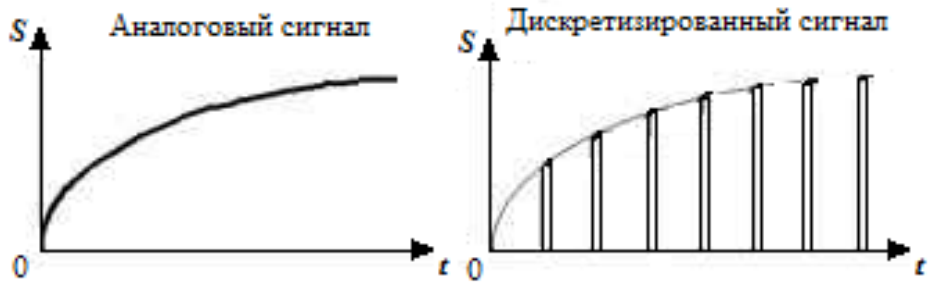


Рисунок 2.2 - Аналого-цифровое преобразование. Дискретизация.

Чем меньше интервал дискретизации и, соответственно, выше частота дискретизации, тем меньше различия между исходным сигналом и его дискретизированной копией. Ступенчатая структура дискретизированного сигнала может быть сглажена с помощью фильтра нижних частот. Таким образом и осуществляется восстановление аналогового сигнала из дискретизированного. Но восстановление будет точным только в том случае, если частота дискретизации по крайней мере в 2 раза превышает ширину полосы частот исходного аналогового сигнала (это условие определяется известной теоремой Котельникова). Если это условие не выполняется, то дискретизация сопровождается необратимыми искажениями. Дело в том, что в результате дискретизации в частотном спектре сигнала появляютсся дополнительные компоненты, располагающиеся вокруг гармоник частоты дискретизации в диапазоне, равном удвоенной ширине спектра исходного аналогового сигнала. Если максимальная частота в частотном спектре аналогового сигнала превышает половину частоты дискретизации, то дополнительные компоненты попадают в полосу частот исходного аналогового сигнала. В этом случае уже нельзя восстановить исходный сигнал без искажений.

Квантование представляет собой замену величины отсчета сигнала ближайшим значением из набора фиксированных величин - уровней квантования. Другими словами, квантование - это округление величины отсчета. Уровни квантования делят весь диапазон возможного изменения значений сигнала на конечное число интервалов - шагов квантования. Расположение уровней квантования обусловлено шкалой квантования. Используются как равномерные, так и неравномерные шкалы. На рисунке 2.3 показаны исходный аналоговый сигнал и его квантованная версия, полученная с использованием равномерной шкалы квантования, а также соответствующие сигналам изображения.

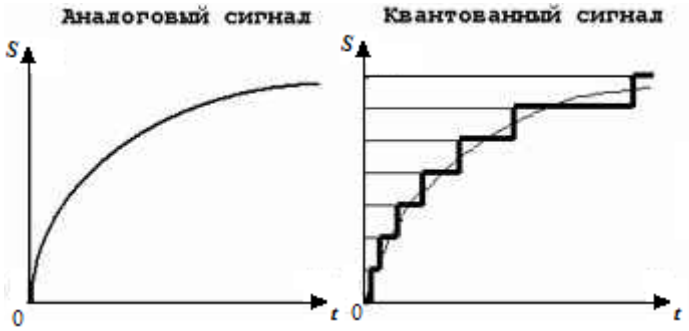


Рисунок 3 - Аналого-цифровое преобразование. Квантование

Искажения сигнала, возникающие в процессе квантования, называют шумом квантования. При инструментальной оценке шума вычисляют разность между исходным

сигналом и его квантованной копией, а в качестве объективных показателей шума принимают, например, среднеквадратичное значение этой разности.

Цифровое кодирование. Квантованный сигнал, в отличие от исходного аналогового, может принимать только конечное число значений. Это позволяет представить его в пределах каждого интервала дискретизации числом, равным порядковому номеру уровня квантования. В свою очередь это число можно выразить комбинацией некоторых знаков или символов. Совокупность знаков (символов) и система правил, при помощи которых данные представляются в виде набора символов, называют кодом. Конечная последовательность кодовых символов называется кодовым словом. Квантованный сигнал можно преобразовать в последовательность кодовых слов. Эта операция и называется кодированием. Каждое кодовое слово передается в пределах одного интервала дискретизации. Для кодирования сигналов звука и изображения широко применяют двоичный код. Если квантованный сигнал может принимать N значений, то число двоичных символов в каждом кодовом слове $n >= \log2N$. Один разряд, или символ слова, представленного в двоичном коде, называют битом. Обычно число уровней квантования равно целой степени числа 2, т.е. $N = 2n$.

Кодовые слова можно передавать в параллельной или последовательной формах (рис. 4). Для передачи в параллельной форме надо использовать n линий связи (в примере, показанном на рисунке, $n = 4$). Символы кодового слова одновременно передаются по линиям в пределах интервала дискретизации. Для передачи в последовательной форме интервал дискретизации надо разделить на n подинтервалов - тактов. В этом случае символы слова передаются последовательно по одной линии, причем на передачу одного символа слова отводится один такт. Каждый символ слова передается с помощью одного или нескольких дискретных сигналов - импульсов. Преобразование аналогового сигнала в последовательность кодовых слов поэтому часто называют импульсно-кодовой модуляцией. Форма представления слов определенными сигналами определяется форматом кода. Можно, например, устанавливать в пределах такта высокий уровень сигнала, если в данном такте передается двоичный символ 1, и низкий - если передается двоичный символ 0 (такой способ представления, показанный на рис. 6, называют форматом БВН - Без Возвращения к Нулю). В примере рисунок 2.4 используются 4-разрядные двоичные слова (это позволяет иметь 16 уровней квантования). В параллельном цифровом потоке по каждой линии в пределах интервала дискретизации передается 1 бит 4-разрядного слова. В последовательном потоке интервал дискретизации делится на 4 такта, в которых передаются (начиная со старшего) биты 4-разрядного слова.

Операции, связанные с преобразованием аналогового сигнала в цифровую форму (дискретизация, квантование и кодирование), выполняются одним устройством - аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Сейчас АЦП может быть просто интегральной микросхемой. Обратная процедура, т.е. восстановление аналогового сигнала из последовательности кодовых слов, производится в цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП). Сейчас существуют технические возможности для реализации всех обработок сигналов звука и изображения, включая запись и излучение в эфир, в цифровой форме. Однако в качестве датчиков сигнала (например, микрофон, передающая ТВ трубка или прибор с зарядовой связью) и устройств воспроизведения звука и изображения (например, громкоговоритель, кинескоп) пока используются аналоговые устройства. Поэтому аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи являются неотъемлемой частью цифровых систем.

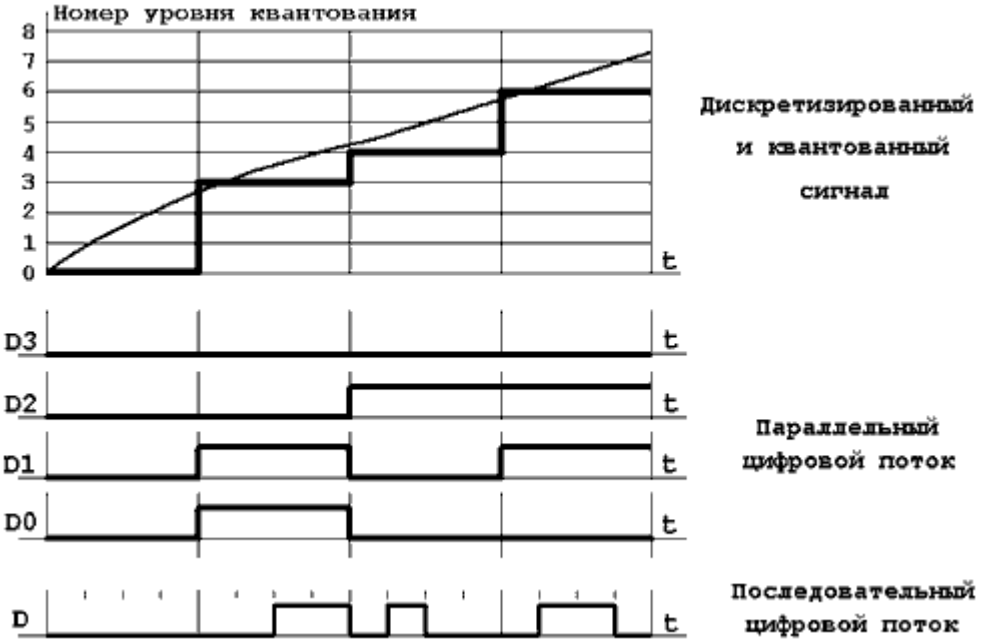


Рисунок 2.4 - Аналого-цифровое преобразование.

Цифровые сигналы можно описывать с помощью параметров, типичных для аналоговой техники, например таких, как полоса частот. Но их применимость в цифровой технике является ограниченной. Важным показателем, характеризующим цифровой поток, является скорость передачи данных. Если длина слова равна n, а частота дискретизации FD, то скорость передачи данных, выраженная в числе двоичных символов в единицу времени (бит/с), находится как произведение длины слова на частоту дискретизации: $C = n \cdot F \cdot D$.

Пример для выше приведенных исходных данных.

Изменение напряжения во времени в течение периода будет иметь вид (рисунок 2.5).

Частота дискретизации определяется исходя из неравенства $F_д \geq 2F_в$. В качестве частоты дискретизации возьмём $F_д$=600 Гц. Таким образом, на один период необходимо взять два отчета.

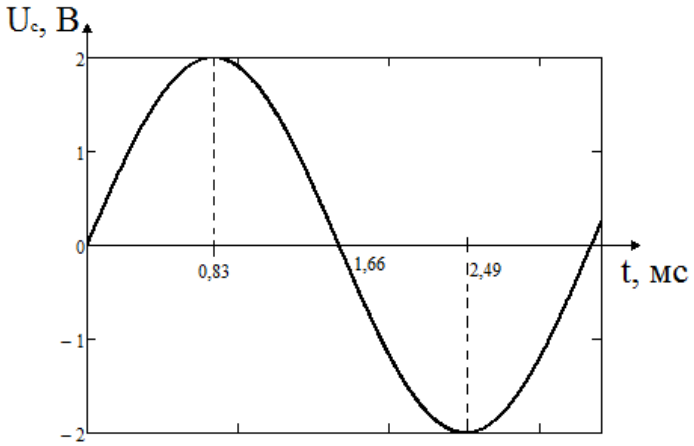


Рисунок 2.5 - Изменение напряжения во времени в течение периода

Поскольку напряжение ограничения не определено, то примем $U_{огр}=U_0$. При кодировании кодовое слово будет иметь вид (рисунок 2.6).

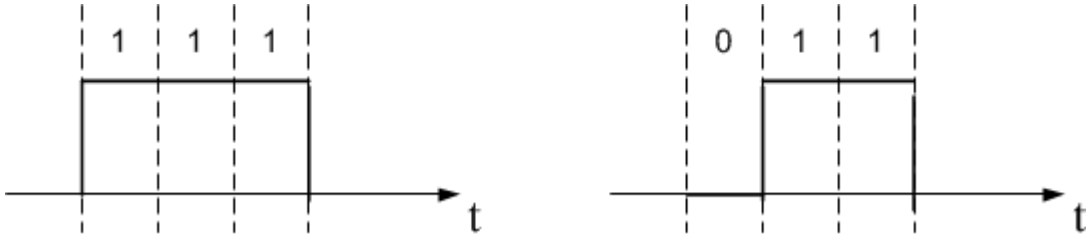


Рисунок 2.6 - Кодовое слово:
а) - при максимальном значении отчета;
б) - при минимальном значении отчета.

Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:
1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты преобразования.
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Приведите основные характеристики телефонного сигнала.
2. Основные этапы аналого-цифрового преобразования.
3. Какая теорема лежит в основе преобразования?
4. В чем различие сигналов АИМ-I и АИМ-II.
5. От чего зависят ошибки квантования?
6. Чему равна скорость передачи по ОЦК и почему?

Список рекомендованных источников

1. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.
2. Крухмалев В.В., Гордиенко В.М., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи. Учебное пособие для вузов / под редакцией А.Д. Моченова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012.
3. Цифровые и аналоговые системы передачи. Учебник для вузов / под редакцией В.И. Иванова – 2-ое издание – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.

Практическое занятие 3

Формирование группового цифрового сигнала

Задание

1. Представить структуру потока Е1.

2. Сформировать групповой цифровой сигнал содержащий 180 ОЦК и представить его структуру.

Краткие теоретические сведения

В европейской плезиохронной цифровой иерархии потоком Е1 является поток, имеющий скорость передачи 2048 кбит/с. Обычно в этом потоке объединяется 32 основных цифровых канала (ОЦК, 64.кбит/с), два из которых используются для внутренних нужд системы передачи (являются сервисными).

Рассмотрим структуру оконечной станции первичной ЦСП, формирующей поток Е1, на примере широко распространенной на телекоммуникационной сети РФ системы передачи ИКМ-30. Это оборудование относится к образцам аппаратуры прежних поколений, но ее построение позволяет наглядно продемонстрировать применение на практике рассмотренных ранее принципов преобразования сигнала.

Упрощенная функциональная схема станции показана на рисунке 3.1. Сигналы ТЧ поступают на вход/выход (точка а) приемопередатчика ПП и через дифференциальную систему ДС, разделяющую тракты приема и передачи, на вход передающей части ПП (точка б). Передающая часть ПП состоит из ограничителя амплитуд, защищающего дальнейшие узлы оборудования от импульсных помех, активного фильтра нижних частот и амплитудно-импульсного модулятора. Фильтр нижних частот ограничивает полосу сигнала частотой 3,4 кГц, что обеспечивает безыскаженное восстановление АИМ сигнала на приеме. Амплитудно-импульсный модулятор (электронный ключ) дискретизирует поступающий сигнал с частотой 8 кГц. Его работой управляет соответствующая номеру канала последовательность канальных импульсов, поступающая от генераторного оборудования передачи (ГО пер). АИМ-сигналы с выходов всех тридцати ПП, смещенные друг относительно друга во времени согласно принципу временного разделения каналов, объединяются в групповой сигнал в формате АИМ-1 и поступают на вход преобразователя АИМ-1/АИМ-2 (точка в). Формат АИМ-2 (плоские вершины импульсов) необходим для удержания неизменным напряжения, соответствующего тому или иному мгновенному значению аналогового сигнала, на время его обработки кодером (Код).

Кодер заменяет импульсы, с амплитудами, равными мгновенным значениям сигналов ТЧ, канальными сигналами - восьмиразрядными кодовыми комбинациями (кодовыми словами), которые поступают на формирователь линейного сигнала ФЛС. ФЛС формирует цикл передачи (см. следующую главу), в котором помимо 30-и канальных сигналов содержатся сервисные сигналы, сигналы дискретной информации (ДИ), поступающие от передатчика ДИ пер, а также сигналы управления и взаимодействия (СУВ) телефонных каналов (точка г).

Исходные сигналы СУВ данного канала поступают от АТС на передающую часть согласующего устройства (СУ пер) по сигнальной цепи (точка д.). Здесь они дискретизируются с частотой 500 Гц, объединяются по принципу ВРК (точка е) и поступают

на ФЛС, где также вводятся в линейный сигнал. С выхода ФЛС линейный сигнал (точка г) поступает на преобразователь кода передачи (ПК пер). Преобразователь кода предназначен для преобразования натурального симметричного кода в линейный код, принятый в данной ЦТС.

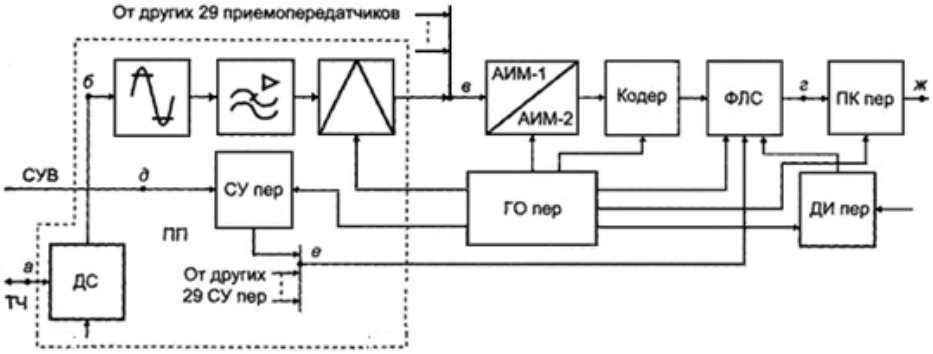


Рисунок 3.1 – Функциональная схема оконечной станции

Точка на выходе ПК пер. (ж) является точкой начала первичного цифрового тракта (относится к стандартному интерфейсу сетевого узла, т.е. в ней нормируются физические, электрические и логические параметры соединения).

Первичный цифровой поток получается в этом случае путем объединения канальных цифровых потоков, поступающих от абонентских линейных плат, и сервисных сигналов системы передачи.

На выходе первичной ЦТС получается первичный цифровой поток со скоростью передачи 2048 кбит/с. Первичный цифровой поток в данном случае является структурированным, т.е. в нем можно выделить периодически повторяющиеся характерные структуры. Структура цифрового потока на выходе первичной ЦТС показана на рисунке 3.2.

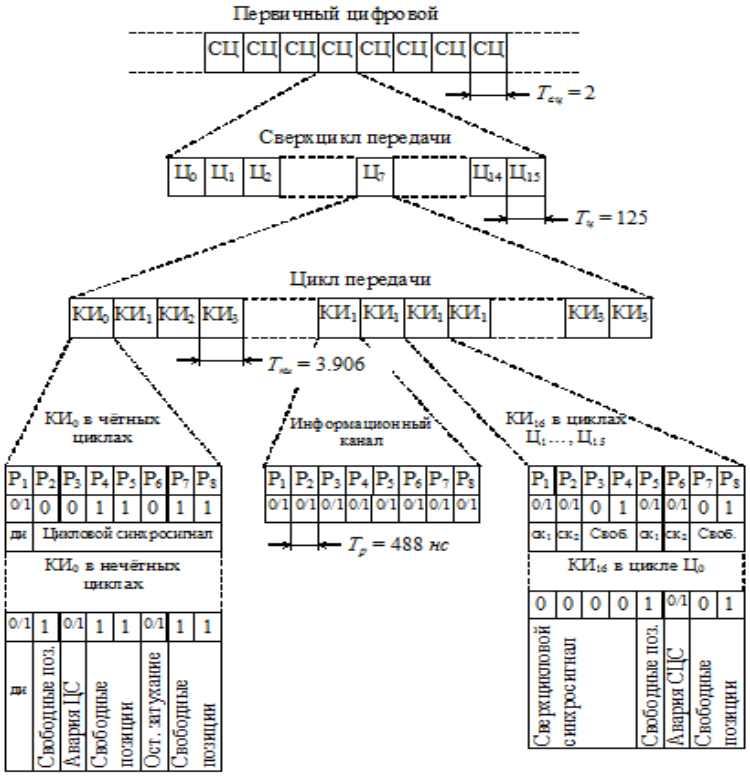


Рисунок 3.2 – Структура первичного цифрового потока (2,048Мбит/с):

$T_{сц}$, $T_ц$, $T_{ки}$, $T_р$ - длительности сверхцикла, цикла, канального и разрядного интервала

Прежде всего, поток разделяется на сверхциклы передачи (СЦ), длительности которых равны двум миллисекундам. Сверхцикл объединяет 16 циклов передачи с нулевого (Ц0) по пятнадцатый (Ц15).

Длительность каждого цикла 125 мкс. Частота следования циклов составляет 1/125-10"6 = 8-103 = 8 кГц. Поскольку в цикле передается одна кодовая комбинация каждого канала, частота следования циклов совпадает с частотой дискретизации канальных сигналов, которая также равна 8 кГц.

Цикл передачи содержит 32 канальных интервала с нулевого (КИО) по тридцать первый (КИ31).

Каждый канальный интервал занимает восьмиразрядное кодовое слово (разряды с Р1 по Р8). Частота следования разрядных интервалов и, следовательно, битов информации в первичном потоке составляет 8-103-32-8 = 2048-103 бит/с (2,048 Мбит/с). В точке стыка сетевого тракта единицы передаются прямоугольными импульсами, занимающими половину разрядного (тактового) интервала, а нули - пробелами (отсутствием импульса в разрядном интервале).

Для примера представим структуру потока Е2 формируемого оборудованием ИКМ-120 путем посимвольного объединения четырех потоков стандартной ИКМ-30 с добавлением служебных разрядов в каждый поток. Временной спектр цифрового потока Е2 представлен на рисунке 3.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	……	263	264	№ поз
1	1	1	0	0	1	1	0	I	II	III	IV	I	III	IV		I СЦ
Цикловой синхросигнал																

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	……	263	264	№ поз
Первые символы КСС				Служебная связь				I	II	III	IV	I	III	IV		II СЦ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	……	263	264	№ поз
Вторые символы КСС				ПДИ		Авар. Сигнализ контроля		I	II	III	IV	I	III	IV		III СЦ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	……	263	264	№ поз
Третьи символы КСС				I II III IV Дополнительная информация при отриц.СС				I II III IV Вставки при положительном СС				I	III	IV		IV СЦ

Рисунок 3.3 – Структура потока Е2

Цикл передачи состоит из четырех субциклов, каждый из которых содержит 264 разрядов. Длительность каждого субцикла $T_ц/4$ = 125/4= 31,25 мксек.

Первые восемь позиций первого субцикла заняты комбинацией 11100110, представляющий собой цифровой синхросигнал. Остальные 256 позиций заняты информацией посимвольно объединенных исходных потоков, номера которых отмечены на рис.4 под номерами позиций.

Первые четыре позиции второго, третьего и четвертого субциклов отведены для передачи символов 1,2 и 3 команд согласования скоростей соответственно. На 5-8 позициях второго субцикла представляются символы служебной связи.

В третьем субцикле на позициях 5-6 – символы дискретной информации, на 7 – сигнал аварии и на 8 – вызов служебной связи.

В четвертом субцикле на позициях 5- 8 передается дополнительная информация при отрицательном согласовании скоростей, а на 9-12 – вставка при положительной обратной связи.

Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Структуру заданных цифровых потоков.
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Сколько ОЦК в цифровом потоке Е1?
2. Какой метод мультиплексирования используется при формировании группового цифрового сигнала?
3. Сколько потоков Е1 содержит поток Е4?
4. Чему равна длительность цикла в потоке Е1?
5. От чего зависят ошибки квантования?
6. Чему равна скорость передачи потока Е4?

Список рекомендованных источников

1. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.

2. Крухмалев В.В., Гордиенко В.М., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи. Учебное пособие для вузов / под редакцией А.Д. Моченова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012.

3. Цифровые и аналоговые системы передачи. Учебник для вузов / под редакцией В.И. Иванова – 2-ое издание – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.

Практическое занятие 4

Расположение контейнеров синхронного транспортного модуля

Задание

1. Изучить структуру контейнеров SDH.

2. Сформировать синхронный транспортный модуль STM-1 с использованием контейнеров различного типа.

Краткие теоретические сведения

В сети SDH используется принцип контейнерных перевозок. Подлежащие транспортированию сигналы предварительно размещаются в стандартных контейнерах (Container-C). Все операции производятся с контейнерами независимо от их содержимого. Бла-годаря этому и достигается прозрачность сети SDH, т.е. возможность транспортировать различные сигналы PDH, потоки ячеек ATM или какие-либо другие сигналы.

Предусмотрены контейнеры четырех уровней. В контейнерах размещаются потоки PDH (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Характеристика контейнеров

Обозначение контейнера	Уровень контейнера	Размер контейнера, байт	Скорость передачи контейнера, кбит/с	Передаваемый поток, кбит/с
C-11	1	25	1600	1544 (DS1)
C-12	1	34	2176	2048 (E1)
C-2	2	106	6784	6312 (ATM)
C-3	3	756	48384	34368/44736 E3/DS3
C-4	4	2340	149760	139264

Исходная информационная нагрузка пакуется в контейнеры C соответствующего уровня, представляющие базовые элементы структуры мультиплексирования SDH, соответствующих уровням ПЦИ.

Рассмотрим пример формирования синхронного транспортного модуля N-го уровня (рисунок 4.1).

Четверичный цифровой поток европейского стандарта E4 со скоростью передачи 140 Мбит/с, что соответствует 2176 байтам на длительности цикла Тц = 125 мкс, путем добавления выравнивающих байт преобразуется в контейнер уровня C-4; третичный циф-ровой поток E3 с числом 537 байт на длительности Тц = 125 мкс путем добавления выравнивающих байт преобразуется в контейнер уровня C-3. Аналогично цифровой поток североамериканского стандарта ПЦИ уровня DS3 со скоростью передачи 45 Мбит/с преобразу-ется также в контейнер уровня C-3. Первичный цифровой поток E1 путем добавления выравнивающих бит преобразуется в контейнер типа C-12, а североамериканский DS1 - в контейнер C-11.

Затем контейнеры C-4, C-3, C-12 или C-11 посредством операции размещения преобразуются в виртуальные контейнеры VC соответствующего уровня с периодом 125 или 250 мкс. Виртуальный контейнер VC получается из контейнера C путем добавления в структуру последнего байт трактового заго-ловка POH (Path Over Head), обеспечивающего

контроль качества тракта и передачу аварийной и эксплуатационной информации. Условно операция размещения состоит по сути в том, что информа-ция, содержащаяся в контейнере С, размещается на определенных позициях виртуального контейнера, чередуясь с битами трактового заголовка.

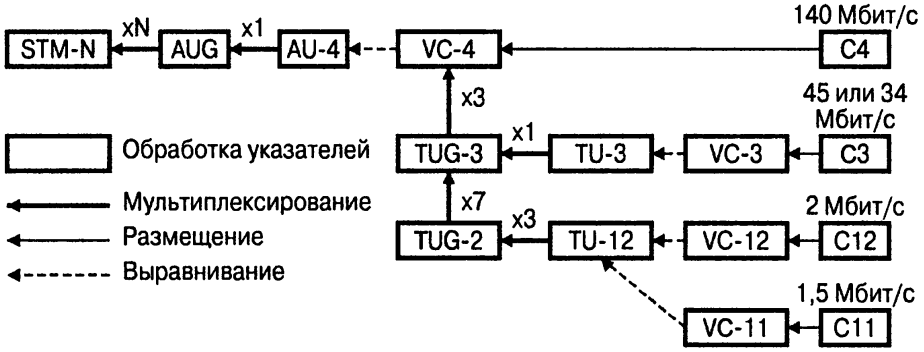


Рисунок 4.1 - Формирования синхронного транспортного модуля N-го уровня

Для европейского стандарта СЦИ имеют место следующие типы виртуальных контейнеров:

VC-12, содержащий контейнер С-12 и трактовый заголовок-РОН, который путем выравнивания, заключающегося в добавлении байт указателя PTR (PoinTeR - указатель), преобразуется в компонентный блок уровня TU-12 (Tributary Unit - TU);

VC-3 - виртуальный контейнер высшего уровня, содержащий контейнер С-3, трактовый заголовок - РОН, и далее выравнивани-ем и добавлением байт указателя PTR преобразуется в компо-нентный блок уровня TU-3;

VC-4 - виртуальный контейнер высшего уровня, содержащий контейнер С-4, трактовый заголовок, и путем выравнивания и добав-ления байт PTR преобразуется в административный блок AU-4 (Administrative Unit - AU).

Соответствующим мультиплексированием с коэффициентами мультиплексирования равными 3, 7 и 1, формируются группы компонентных блоков TUG (Tributary Unit Group) второго TUG-2 и третьего (высшего) TUG-3 уровней.

Как следует из рисунка 4.1, виртуальный контейнер VC-4 формируется либо на базе контейнера С-4, либо путем мультиплексиро-вания с коэффициентом мультиплексирования, равным 3, из компонентных блоков TUG-3. Виртуальный контейнер VC-4 преоб-разуется в административный блок AU-4, а последний с помощью мультиплексирования преобразуется в группу административных блоков AUG.

Формирование синхронного транспортного модуля уровня N STM-N осуществляется путем мультиплексирования группы административных блоков с коэффициентом мультиплексирования, равным N порядку STM, и добавлением в его структуру заголовка регенерационной секции RSOH (Regeneration Section Over Head) и заголовка мультиплексной секции MSOH (Multiplex Section Over Head).

Поступающие цифровые потоки размещаются на заданных позициях циклов виртуальных контейнеров. Добавляемые к виртуальным контейнерам при формировании субблоков и административных блоков указатели позволяют дина-мично компенсировать изменения скорости и фазы нагрузки блоков. Соответствующая процедура названа выравниванием.

Наконец, мультиплексирование позволяет согласовать несколько сигналов трактов низшего порядка с сигналом тракта высшего порядка или несколько сигналов трактов высшего порядка с сигналом мультиплексной секции.

Циклы базовых информационных структур SDH принято изображать в виде прямоугольных таблиц. Каждая клетка таблицы соответствует октету. Порядок передачи октетов - слева направо, сверху вниз. Первый октет цикла размещается в левом верхнем углу таблицы, последний - в правом нижнем.

При размещении нагрузки сформированной пакетными технологиями происходит формирование сцепленных виртуальных контейнеров. Это обусловлено необходимостью предоставления прозрачного соединения в транспортной сети для пользовательского трафика, передаваемого с соответствующей скоростью. Сцепки виртуальных контейнеров подразделяются на последовательные CCAT (Contiguous Concatenation) и виртуальные VCAT (Virtual Concatenation). Сцепки типа CCAT содержат строго фиксированное число виртуальных контейнеров, требуют единого маршрута в транспортной сети и поддержки этого маршрута всеми промежуточными мультиплексорами. Сцепки типа VCAT организуются с различным числом виртуальных контейнеров (таблица 4.2), и маршруты контейнеров могут быть различными. Принципиальные внутренние различия двух видов сцепок показаны на рисунке 4.2.

Таблица 4.2 Возможности сцепки виртуальных контейнеров и эффективность соединений

Вид нагрузки	Скоростной режим, Мбит/с	Последовательная сцепка		Виртуальная сцепка	
		Контейнер	Эффективность, %	Контейнер	Эффективность, %
Ethernet	10	VC-3	20	VC-12-12v	92
Fast Ethernet	100	VC-4	67	VC-3-2v	100
Gigabit Ethernet	1000	VC-4-16c	42	VC-4-7v	95
Fibre Channel	200	VC-4-4c	33	VC-3-4v	100
Fibre Channel	1000	VC-4-16c	42	VC-4-7v	95
ESCON	200	VC-4-4c	33	VC-3-4v	100

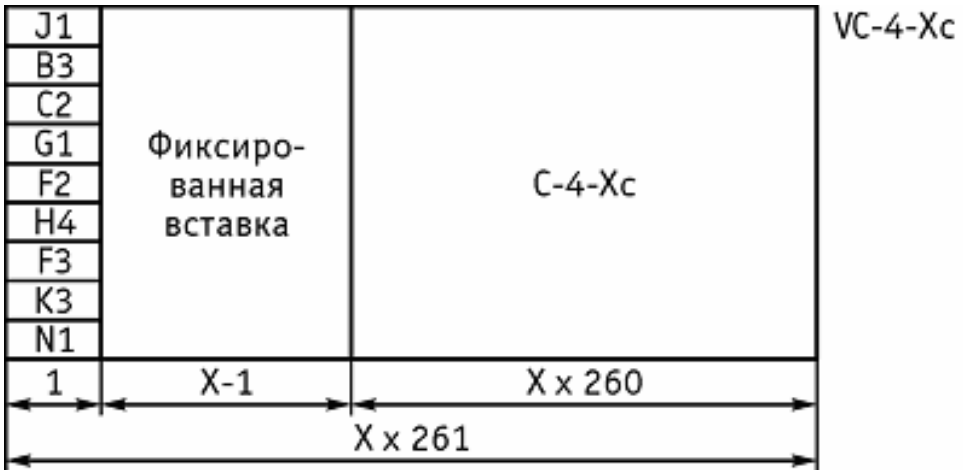


Рисунок 4.2 - Структура последовательно сцепленных X(4, 16,64,256) виртуальных контейнеров VC-4-Xc

Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:
1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Структуры формирования STM-1 с использованием контейнеров различного типа.
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какие контейнеры имеются в STM-1?
2. Какую размерность имеет контейнер C12?
3. Какой метод мультиплексирования используется при формировании группового цифрового сигнала?
4. Сколько потоков E1 содержит поток STM-1?
5. Сколько потоков E3 содержит поток STM-1?
6. Сколько потоков E4 содержит поток STM-1?
7. Чему равна длительность цикла в потоке СЦТС?
8. Что загружается в контейнер C4?
9. Перечислите элементы поля нагрузки.
10. Какая информация определяет размещение сигналов нагрузки в кадре STM?

Список рекомендованных источников

1. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. – М: Горячая линия-Телеком, 2013.
2. Гордиенко, В.В. Крухмалёв, А.Д. Моченов, Р.Ф. Шарафутдинов. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов: – М: Горячая линия-Телеком, 20011.
3. Крухмалев В. В., Гордиенко В.Н., А. Д. Моченов. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. М.: Горячая линия - Телеком, 2012.

Практическое занятие 5

Кодирование линейных сигналов ЦТС

Задание:

Представить заданное шестизначное десятичное число (131845) в двоичном коде кодом униполярным и затем преобразовать его в код HDB-3.

Краткие теоретические сведения

Цифровые сигналы передаются по разным линиям связи - кабельным (электрическим и волоконно-оптическим), радиорелейным и спутниковым. В зависимости от используемой среды распространения сигналам в линии придают различный вид, при котором параметры сигнала в наибольшей степени согласованы с параметрами линии связи. Эта операция называется линейным кодированием, при котором символы “1” и “0” информационного сигнала заменяются цифровым сигналом, характеристики которого в большей степени соответствуют параметрам линии. Полученный в результате линейного кодирования цифровой сигнал называется линейным кодом.

К линейным кодам предъявляются следующие требования:

- однозначность декодирования, т.е. из линейного цифрового сигнала должна однозначно формироваться исходная последовательность двоичных символов;
- в энергетическом спектре линейного цифрового сигнала должны быть ослаблены низкочастотные и высокочастотные составляющие;
- в линейном цифровом сигнале должна быть обеспечена высокая плотность импульсов, т.е. число импульсов, определяющих тактовые интервалы, должно быть существенно больше числа пробелов (“нулей”).

В зависимости от используемой среды распространения применяют различные линейные коды. В радиорелейных и спутниковых линиях, например, используют различные виды фазовой или частотной манипуляции. В линиях связи электрических кабелей распространена передача цифровых сигналов импульсами постоянного тока. При этом сигналы в линии могут быть двухуровневыми и многоуровневыми, из последних чаще всего применяются трехуровневые сигналы.. Двухуровневые сигналы могут принимать в процессе кодирования значения напряжения “+” или “-”, трехуровневые сигналы принимают значения “+”, “-” и “0” (пробел). Линейные коды цифровых волоконно-оптических систем передачи представляют двухуровневые сигналы, принимающие в процессе кодирования значения “+” или “0” (пробел).

В ряде случаев для исключения из цифрового сигнала длинных последовательностей одинаковых символов, а также периодически повторяющихся пачек символов исходный двоичный сигнал перед линейным кодированием подвергается дополнительному перекодированию, при котором ему придаются свойства случайного потока. Операция совершаемая при этом, называется скремблированием сигнала и состоит в суммировании по “модулю 2” с исходным сигналом псевдослучайных последовательностей (ПСП), содержащих определенное (равное 2n-1 , где n - целое) число символов. Эти последовательности, будучи в действительности детерминированными, удовлетворяют трем критериям случайности:

1) в каждом периоде последовательности число символов “1” отличается от числа символов “0” не более, чем на единицу;

2) в течение периода последовательности половина серий единиц и нулей имеет длину 1, одна четверть -2, одна восьмая -3 и т.д. до тех пор, пока это продолжение имеет смысл. Серией называется последовательность одинаковых цифр;

3) если последовательность посимвольно сравнить с любым ее циклическим сдвигом в течение периода последовательности, то можно отметить, что число совпадений отличается от числа несовпадений не более, чем на единицу, а при сложении “по модулю 2” этой последовательности с ее циклическим сдвигом образуется новая циклическая перестановка исходной последовательности.

Например, при n = 4 псевдослучайная последовательность, удовлетворяющая указанным требованиям имеет вид 000100110101111. Число символов в этой последовательности равно 15. Число единиц в ней равно 8, число нулей - 7, что удовлетворяет первому критерию. Второй критерий также удовлетворяется, так как в этой последовательности имеется восемь различных серий, в том числе четыре серии единиц и четыре серии нулей. Из них две серии единиц и две серии нулей (4 из 8) имеют длину 1, по одной серии единиц и нуле имеют длину 2 (2 из 8) и одна серия из восьми содержит три нуля. Сдвинув последовательность на любое число символов и сравнив ее с исходной, можно убедиться в справедливости критерия 3. Так при сдвиге на три элемента видим, что в этих строках символы совпадают 7 раз и не совпадают 8 раз. Сложение “по модулю 2” , приводит к образованию последовательности 111100010011010, которая является циклической перестановкой исходной последовательности. Псевдослучайные последовательности, удовлетворяющие указанным трем критериям, называются последовательностями максимальной длины и формируются с помощью регистров сдвига с обратными связями. Отметим, что обычно выбирают n> 10, что соответствует длине ПСП более 1023 символов.

Сигнал, образованный суммированием входного двоичного потока и периодически повторяемых последовательностей максимальной длины, сохраняет свойства псевдослучайного сигнала и называется скремблированием. Вероятности появления символов “0” и “1” в нем одинаковы, поэтому вероятность образования серии из k нулей подряд рана $p= 0,5^k$. При k=20 p_{20} » 10^{-6}. Такой сигнал обладает достаточно хорошими свойствами для выделения из него сигналов синхронизации.

При декодировании линейного скремблированного сигнала происходит вычитание ПСП-составляющей из суммарного цифрового сигнала и восстановление за счет исходного цифрового потока.

В системах передачи на основе классической ИКМ с ВРК каждый отсчет (дискрет) входного квантованного сигнала кодируется независимо от всех остальных, т.е. кодируются произвольные случайные сигналы. Анализ речевых сигналов показывает, однако, что при переходе от одного дискрета к другому проявляется значительная избыточность. Степень корреляции между соседними дискретами довольно значительная (коэффициент корреляции не менее 0,85). Следовательно, избыточность при классической ИКМ указывает на возможность значительной экономии полосы передаваемых частот за счет более эффективных методов кодирования.

Кроме корреляции между соседними дискретами речевого сигнала, для уменьшения скорости передачи кодированного сигнала можно использовать и другие виды избыточности: неравномерное распределение амплитуд, корреляция , связанная с периодичностью в сигнале,

корреляция между периодами основного тона; избыточность, связанная с неактивностью речи, неравномерностью усредненного спектра речи и кратковременностью спектра речи.

Пример: Построение кодовой последовательности

Дано: десятичное число – 65797; кабель – металлический.

Десятичному числу 65797 соответствует двоичное число 1 0000 0001 0000 0101.

Код ЧПИ образуется из униполярного двоичного кода (возвращением к нулю) последовательным изменением импульсов «1»: нечетные «+1», четные «-1» .

Код КВП-3 образуется путем замены комбинации из четырех последовательно расположенных «0» на комбинации вида 000V или B00V в зависимости от полярности последнего импульса и числа импульсов после последней замены. Правила иллюстрируются таблица 5.1.

Таблица 5.1 – Правила построения кода

Полярность предыдущего имп.V	Вид комбинации для числа импульсов после последней замены	
	нечетного	четного
-	000V 000-	B00V +00+
+	000V 000+	B00V -00-

V- импульс повторяющий полярность предыдущего импульса.

B - импульс противоположная полярность предыдущего импульса.

На рисунке 5.1 представлены коды ЧПИ и КВП-3 соответственно.

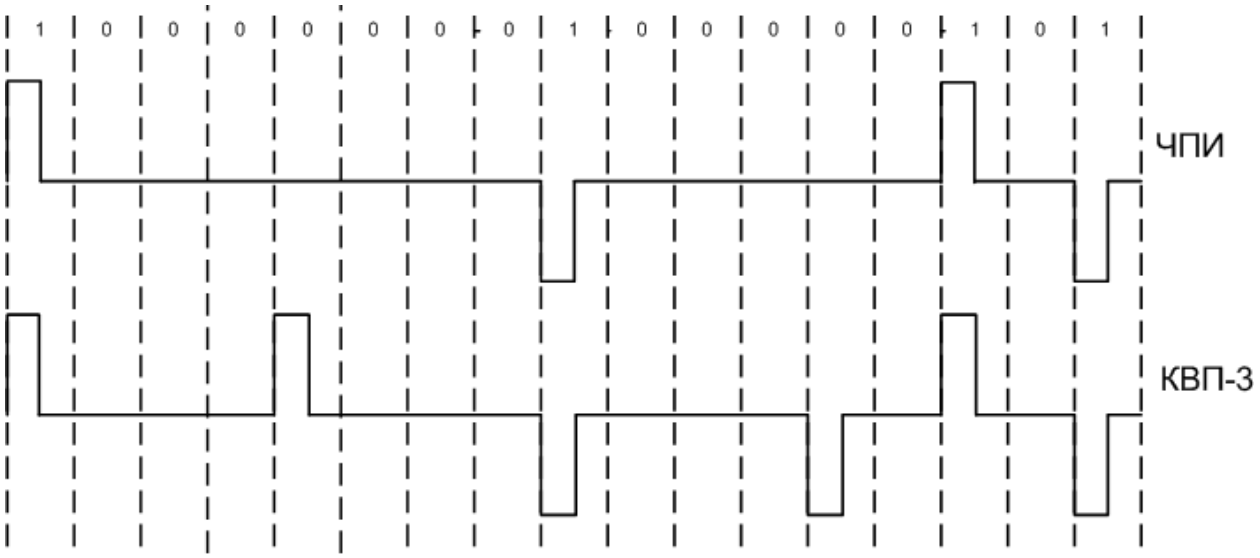


Рисунок 5.1 - Двоичная последовательность символов в кодах ЧПИ и КВП-3

Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:
1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Двоичные последовательности символов в кодах ЧПИ и КВП-3
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Поясните термин и суть кода HDB-3.
2. Дайте характеристику линейных кодов ЦСП.
3. Поясните термин и суть кода AMI.
4. Поясните термин и суть кода CMI.
5. Поясните термин и суть кода NRZ.
6. Поясните, почему в линии используются коды с нулевой постоянной составляющей в спектре.
7. Поясните спектральный состав линейного сигнала ЦСП.
8. Поясните, зачем используются би импульсы укороченной в два раза длительности относительно длительности бита информационного импульса.
9. Перечислите основные требования к коду передачи.
10. Перечислите основные характеристики кодов.

Список рекомендованных источников

1. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.
2. Крухмалев В.В., Гордиенко В.М., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи. Учебное пособие для вузов / под редакцией А.Д. Моченова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012.
3. Цифровые и аналоговые системы передачи. Учебник для вузов / под редакцией В.И. Иванова – 2-ое издание – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.
Содержание и оформление отчета

Практическое занятие 6

Прохождения линейных сигналов по цифровым линейным трактам с использованием электрического кабеля

Цель работы: Исследование изменения формы импульсного сигнала при передаче его по каналам связи с различной полосой пропускания.

Задание:

1. Определить параметры тестовых сигналов и представить осциллограммы.
2. Построить спектры тестовых сигналов.
3. Исследовать прохождение тестовых сигналов через линию связи при различных значениях полосы пропускания линии связи и представить осциллограммы сигналов на выходе линии связи для 3-х положений переключателя «полоса пропускания».

1 Краткие теоретические сведения

Совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сигнала электросвязи в пределах одной цифровой системы передачи с импульсно-кодовой модуляцией и временным разделением каналов (ЦСП ИКМ-ВРК) со скоростью, определяемой номинальным числом основных цифровых каналов (ОЦК), называется линейным трактом цифровой системы передачи (далее цифровой линейный тракт ЦЛТ.

Групповой цифровой сигнал, сформированный каналообразующим оборудованием ЦСП, может передаваться по электрическим (как симметричным, так и коаксиальным) и волоконно-оптическим кабелям, радиорелейным и спутниковым линиям передачи. Цифровой линейный тракт по электрическим и оптическим кабелям строится по структурной схеме, показанной на рисунке 6.1.

Он содержит передающее и приемное оборудование оконечных пунктов ОЛТ-ОП, участки направляющей среды (НС) и линейные регенераторы (РЛ), размещаемые в регенерационных пунктах (РП), которые могут быть не обслуживаемыми НРП и обслуживаемыми ОРП. Электропитание НРП осуществляется дистанционно с ОРП, которые, кроме того, обеспечивают контроль основных параметров ЦЛТ и состояния оборудования НРП. В этой главе рассматривается линейный тракт по симметричным и коаксиальным кабелям.

Расстояние между НРП $l_{ру}$ называется регенерационным участком (РУ), расстояние между ОРП называется секцией дистанционного питания или (реже) секцией обслуживания.

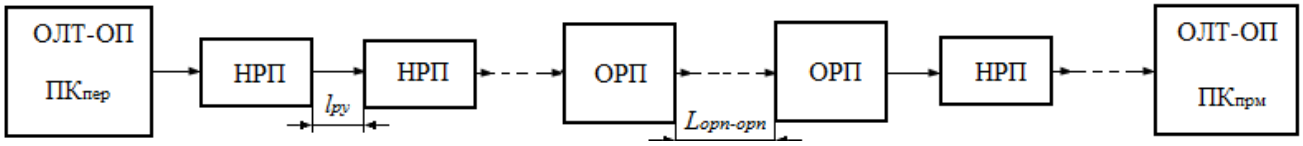


Рисунок 6.1 - Структурная схема цифрового линейного тракта

Для формирования с помощью преобразователя кода передачи ПКпер линейного цифрового сигнала (ЛЦС) на передающей оконечной станции и обратного преобразования с помощью преобразователя кода приема ПКпрм на приемной оконечной станции предназначено ОЛТ-ОП.

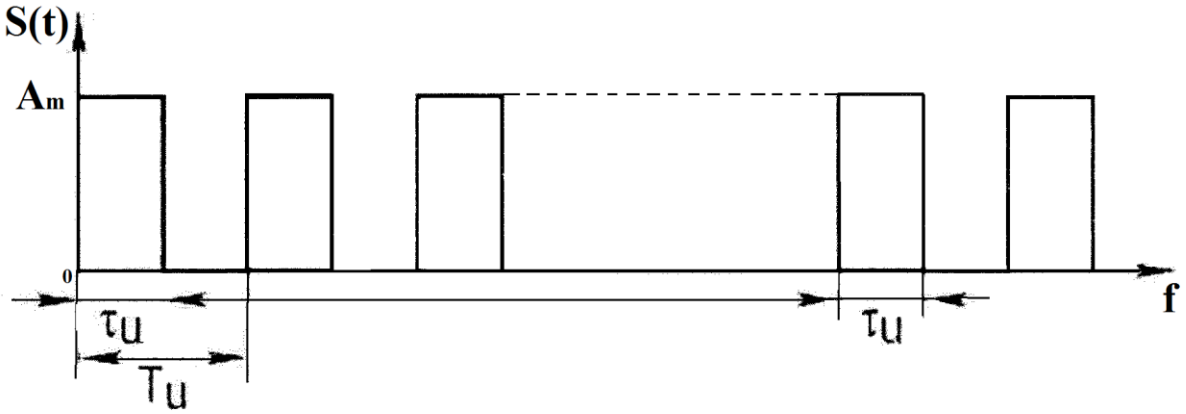
Регенераторы служат для восстановления первоначальной формы импульсов, их амплитуды, длительности и временных положений, которые претерпевают ослабление (затухание), различного вида искажения и воздействие помех. Источниками искажений формы импульсов ЛЦС являются кабельные линии и устройства согласования (УС) входного сопротивления станционного оборудования (ОП, НРП, ОРП) и волнового сопротивления кабельной пары.

Регенерационный участок можно представить в виде линейного четырехполюсника, амплитудно-частотная (АЧХ) и фазо-частотная (ФЧХ) характеристики которого в основном определяются параметрами передачи кабеля и УС. Затухание кабеля растет с увеличением частоты, что неизбежно приводит к ограничению и искажению энергетического спектра ЛЦС сверху. Однако полоса пропускания каждого РУ ограничивается не только сверху, но и снизу. Ограничение полосы снизу объясняется, в частности, тем, что в структуру регенерационного участка входят трансформаторы, служащие для перехода от неуравновешенных (несимметричных) относительно земли входных зажимов аппаратуры оконечных станций и регенераторов к симметричным кабельным парам. Эти трансформаторы не пропускают постоянную составляющую и ослабляют низкочастотные составляющие энергетического спектра ЛЦС.

Цифровой ИКМ сигнал c(t) на выходе ОЛТ-ОП представляет случайную последовательность однополярных импульсов постоянной амплитуды и длительности и пробелов (нулей) также постоянной длительности (рисунок 6.2). Энергетический спектр такого сигнала при одинаковых априорных вероятностях появления единиц и нулей в любом разряде кодовой группы и независимости отдельных символов друг от друга, может быть представлен в форме

$$G(\omega) = \frac{2}{T}\tau_и^2[S(\omega\tau_и)]^2\left[\sigma_0^2 + a_0^2\frac{2\pi}{T}\sum_{k=-\infty}^{\infty}\delta(\omega) - \frac{2\pi k}{T}\right] \quad (6.1)$$

где T - период следования импульсов для случая периодической последовательности; $\tau_и$ длительность импульса; S(ωτи) - модуль спектральной плотности одиночного импульса, определяющий форму непрерывной части энергетического спектра и огибающей его дискретной части; a0 - среднее значение амплитуды импульса и их дисперсия σ_0^2 , . Энергетический спектр $G(\omega)$ последовательности прямоугольных импульсов представлен на рисунке 6.3.



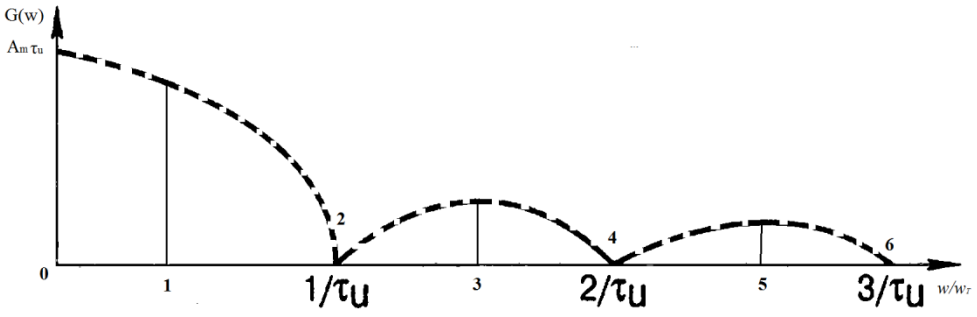


Рисунок 6.3 - Энергетический спектр цифрового ИКМ сигнала

Из этого рисунка следует, что дискретная часть спектра содержит постоянную составляющую и нечетные гармоники тактовой частоты ω_T . Первая гармоника может быть выделена узкополосным фильтром и использована для тактовой синхронизации. При этом непрерывная часть спектра, попадающая в полосу пропускания неточно настроенного фильтра, является помехой в канале выделения тактовой частоты и вызывает фазовые дрожания синхронизирующего напряжения.

Недостатки такого сигнала: 1) относительно большая мощность высокочастотных составляющих дискретной и непрерывной частей энергетического спектра; 2) большой удельный вес низкочастотных составляющих непрерывной части.

Явления, происходящие в ЦЛТ из-за ограничения полосы частот снизу и сверху, по своей физической сущности одинаковы с переходными влияниями в групповом АИМ тракте. Различие состоит в том, что в групповом АИМ тракте имеют место переходные влияния между различными каналами системы, а в ЦЛТ влияют друг на друга импульсы линейного цифрового сигнала, принадлежащие к кодовым группам одного или разных каналов. Такие переходные влияния называются межсимвольными искажениями. Межсимвольные искажения, обусловленные ограничением полосы частот ЦЛТ сверху, называются межсимвольными искажениями 1-го рода. Наиболее сильно влияют друг на друга символы, расположенные в соседних тактовых интервалах. Воздействие двух импульсов друг на друга приводит, в частности, к тому, что амплитуды этих импульсов получают некоторые случайные приращения; случайным образом изменяются моменты появления импульсов (фазовые дрожания), что вызывает дополнительные помехи в канале выделения тактовой частоты и ухудшает работу системы тактовой синхронизации. Влияние импульсов на пробелы (нули) приводит к тому, что в моменты стробирования бестоковых посылок (нулей) напряжение на выходе решающего устройства отличается от нуля и помехоустойчивость регенератора снижается.

Межсимвольные искажения, обусловленные ограничением полосы частот ЦЛТ снизу, называются межсимвольными искажениями 2-го рода. Ограничение полосы частот снизу приводит к подавлению постоянной и низкочастотной составляющих цифрового сигнала и образованию хвостов переходного процесса. Суммарное напряжение хвостов всех предыдущих импульсов воздействует на каждый последующий импульс, изменяя случайным образом его амплитуду. Превышение мгновенного значения сигнала над порогом срабатывания уменьшается, что приводит к снижению помехоустойчивости регенератора.

Помимо передачи цифрового сигнала, содержащего низкочастотные составляющие, по парам кабеля необходимо передавать постоянный ток дистанционного питания (ДП) НРП, а это приводит к проблеме разделения постоянной составляющей цифрового сигнала и тока ДП в НРП.

Нелинейность фазочастотной характеристики ЦЛТ также приводит к нежелательным явлениям. Случайные отклонения группового времени прохождения от постоянной величины, вызванные, например, отражениями от стыков различающихся по волновому сопротивлению строительных длин кабеля, несогласованным подключением кабеля ко входу (выходу)

аппаратуры оконечных и промежуточных регенерационных пунктов, приводят к появлению в тракте паразитных импульсных последовательностей, опережающих основной сигнал или отстающих от него. Наложение отраженных сигналов на основные также способствует увеличению вероятности ошибки при регенерации ЦЛС.

Естественно, что ИКМ сигналы (рисунок 6.2) не могут быть использованы для передачи по линейному тракту, представляющему собой полосовой фильтр с граничными частотами $f_{гн}$ и $f_{гв}$, без существенных межсимвольных искажений и ошибок. Для уменьшения искажений необходимо изменить структуру ИКМ сигнала в соответствии с особенностями конкретного ЦЛТ и типа кабеля. Для этого ОЛТ-ОП содержат преобразователи кода передачи (ПКпер) и приема (ПКпрм). Первый предназначен для преобразования входного ИКМ сигнала в такой сигнал, энергетический спектр которого был бы максимально согласован с параметрами передачи ЦЛТ, и, прежде всего, с частотной характеристикой затухания регенерационного участка, т. е. должен максимально возможно укладываться в полосу частот fгн...fгв. ПКпрм предназначен для обратных преобразований. Можно сказать, что ПКпер и ПКпрм выполняют операции линейного кодирования с целью формирования линейного цифрового сигнала (ЛЦС) с использованием соответствующих линейных кодов и линейного декодирования соответственно.

Основными параметрами ЦЛТ, определяющими качество передачи ЛЦС, являются:

1) коэффициент ошибок Кош, равный отношению числа ошибочно регенерированных символов к общему числу переданных;

2) фазовые дрожания, определяемые отношением отклонения временного положения регенерированных символов от тактовых точек к длительности тактового интервала T (рис. 6.2,а).

Отметим, что при теоретических расчетах и оценках определяется вероятность ошибки $p_{ош}$, а не Кош.

При исследовании используются:

- формирователь тестовых импульсов, расположенный на левой панели;
- синхронизация осциллографа, расположенная на левой панели;
- осциллограф с внешней синхронизацией.

Формирователь вырабатывает три тестовых сигнала F1, F2 и F3. Вы должны определить основные параметры тестовых сигналов:

- период;
- частоту;
- длительность импульса;
- скважность;
- амплитуду.

Алгоритм приближённого построения спектра ПППИ (периодическая последовательность прямоугольных импульсов) содержит:

1) расчет постоянной составляющей:

$$U_0 = \frac{U_m}{q}$$

2) расчет частоты, на которых огибающая спектра пересекает ось абсцисс:

$$\frac{1}{\tau}, \quad \frac{2}{\tau}, \quad \frac{3}{\tau} \ldots$$

3) расчет экстремумов огибающей спектра:

$$S_0 = \frac{2U_m}{q} \qquad S_1 \approx \frac{S_0}{5} \qquad S_2 \approx \frac{S_0}{8}$$

4) определение частоты составляющих спектра

$$F_1 = \frac{1}{T}, \qquad F_2 = \frac{2}{T}, \qquad F_3 = \frac{3}{T} \ldots$$

3 Содержание и оформление отчета

1. Таблица с параметрами тестовых импульсов;
2. Расчёт спектров тестовых импульсов;
4. Эпюры сигналов на выходе линии связи для 3-х положений переключателя «полоса пропускания» (для всех 3-х тестовых импульсов F1, F2 и F3);
5. По полученным результатам сформулировать выводы о связи формы импульса на выходе линии от спектра передаваемых импульсов и полосы пропускания.

Таблица 6.1 – Результаты расчетов

Тестовый импульс	F1	F2	F3
T			
τ			
U_m			
f			
q			

5 Контрольные вопросы

1. Какие ошибки имеют место при прохождении линейных сигналов по цифровым линейным трактам с использованием электрического кабеля?
2. Какие коды используются при прохождении линейных сигналов по цифровым линейным трактам с использованием электрического кабеля?
3. Состав регенератора.
4. Типы помех имеющих место при передачи сигналов.
5. Параметры определяющие качество передачи.
6. Какими параметрами определяется длина кабельного участка?

Список рекомендованных источников

1. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.
2. Крухмалев В.В., Гордиенко В.М., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи. Учебное пособие для вузов / под редакцией А.Д. Моченова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012.
3. Цифровые и аналоговые системы передачи. Учебник для вузов / под редакцией В.И. Иванова – 2-ое издание – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.

Практическое занятие 7

Изучение основ техника–лингвистического обеспечения ВОСП технологии SDH

Задание:

1. Изучить описания структуры терминального мультиплексора, основных сокращений, их сущности и произношения в English варианте.
2. Овладеть методикой изучения функционирования волоконно-оптических многоканальных телекоммуникационных систем на основе технологии SDH, использующих для описания оригинальные технические описания.

Краткие теоретические сведения

7.1 Технико-лингвистические проблемы изучения цифровых МТС технологии SDH

В настоящее время оснащение оборудованием ЕСЭ РФ и корпоративных сетей осуществляется с использованием аппаратуры как отечественных, так и зарубежных производителей. При этом компонента импортного оборудования является достаточно большой. В связи с этим, в научно-технической [1], а затем и в учебной литературе [2,3], сложился стиль не переводить аббревиатуры сокращений с языка оригинала, а представлять их в первоначальном виде. Такой подход предполагает определённый уровень профессиональной подготовки обучаемых в области телекоммуникаций. Однако, студенты, изучающие дисциплины в силу естественного хода процесса обучения такими знаниями в большинстве случаев не обладают. Это затрудняет эффективное изучение современных многоканальных телекоммуникационных систем, так как у обучаемых отсутствует смысловое техническое понимание существа встречающихся терминов.

К сожалению, сегодня в базисе технико-лингвистического обеспечения изучения телекоммуникаций, дающего расшифровку и трактовку англоязычных аббревиатур имеется всего лишь одно учебное пособие [4], которое морально значительно устарело, так как не отражает современного уровня технологий в области телекоммуникаций.

Это снижает качество учебного процесса, так как базовый материал должен осваиваться в течение ограниченного временного интервала. Применение словарей общетехнического назначения [6, 7] в большинстве случаев не позволяют трактовать те или иные аббревиатуры. Специализированные словари в области оптических систем телекоммуникаций, адаптированные к нуждам учебного процесса, к сожалению, отсутствуют, а технический словарь [9] издан для внутриведомственного профессионального применения.

Архитектура этого словаря абсолютно не соответствует задачам учебного процесса на полноценное изучение, так как он создан для обеспечения задач научных исследований и разработки оборудования и систем в области телекоммуникаций и требует определённый начальный базис технико-лингвистический знаний в области телекоммуникаций.

Ещё одной сложностью является то, что в настоящее время до сих пор устойчиво обучение языкам, отличным от английского языка, и изучающие их студенты оказываются полностью неподготовленными к восприятию материала, в котором русский и английский текст перемешан в равных частях.

Поскольку отличительной особенностью описания информационных процессов, компонент, устройств функционирования оборудования технологии SDH является широкое использование общепринятой англоязычной структуры обозначений без их перевода и технической трактовки, возникает необходимость в технико-лингвистическом обеспечении изучения устройства и функционирования волоконно-оптических телекоммуникационных систем на основе технологии SDH.

2 Технико-лингвистическое описание структуры магистрали

Технико-лингвистическое описание структуры магистрали SDH (рисунок 7.1) представлено в таблице 7.1.

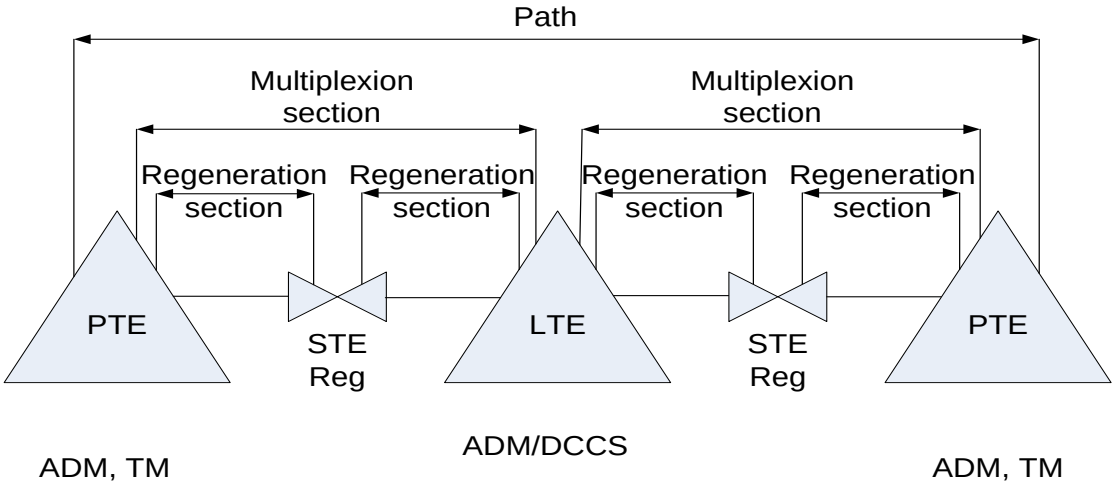


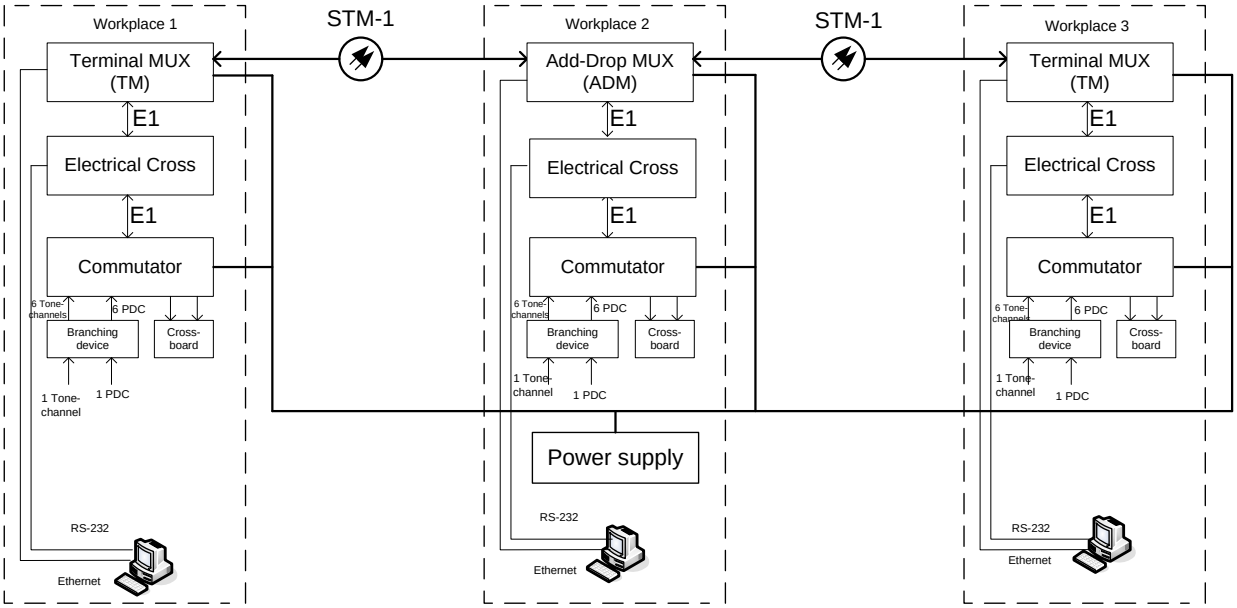
Рисунок 7.1 - Структура магистрали SDH

Таблица 7.1 - Технико-лингвистическое описание структуры магистрали SDH

Path	[pa:θ]	[пас]	Тракт, магистраль
Multiplexion section	[‘mʌltipleksʃn sekʃn]	[малтиплекшн секшн]	Секция мульти-плексирования
Regeneration section	[ri,ʤenə’reiʃn sekʃn]	[ридженирэйшн сэкшн]	Секция регенерации
PTE (Path Terminating Element)	[pi: ti: i:] [pa:θ ,tə:mi’neitiŋ ‘elimənt]	[пи ти и] [пас тёминейтин элимент]	Завершающий элемент тракта МСЭ-Т G.707/ Y.1322
LTE (Line Terminal Equipment)	[el ti: i:] [lain ,tə:mi’nl i’kwipmənt]	[эл ти и] [лайн тёминэл икуипмент]	Оборудование окончания линии
STE (Subscriber Terminal Equipment)	[es ti: i:] [səb’skraibə ,tə:mi’nl i’kwipmənt]	[эс ти и] [сабскрайбэ тёминэл икуипмент]	Оконечное абонентское оборудование

3 Технико-лингвистическое описание схемы магистрали

Технико-лингвистическое описание учебной магистрали SDH (рисунок 7.2) представлено в таблице 7.2.



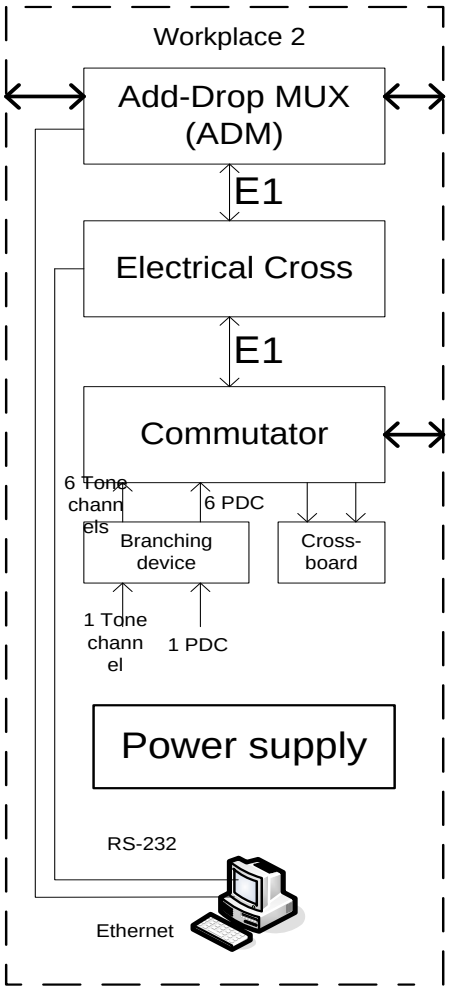


Рисунок 7.2 - Структура учебной магистрали SDH

Таблица 7.2 - Технико-лингвистическое описание учебной магистрали SDH

ADM (Add-Drop Multiplexor)	[ei di: em] [æd drɔp‘mʌltipleksɔ]	[эй ди эм] [эд-дроп малтиплексо]	Мультиплексор ввода-вывода
TM (Terminal Multiplexor)	[ti: em] [,tə:mi’nl ‘mʌltipleksɔ]	[ти эм] [тёминэл малтиплексо]	Терминальный мультиплексор
DCCS (Data Communication Channel Switch)	[di: si: si: es] [‘deitə kəmju:ni’keiʃn ‘tʃænl switʃ]	[ди си си эс] [дата коммуникэйшн ченнел суитч]	Коммутатор каналов данных
Workplace	[wə:kpleis]	[уоркплэйс]	Рабочее место
TM (Terminal Multiplexor)	[ti: em] [,tə:mi’nl ‘mʌltipleksɔ]	[ти эм] [тёминэл малтиплексо]	Терминальный мультиплексор
Electrical cross	[ilectrikl krɔs]	[илектрикал кросс]	Электрический кросс
Commutator	[‘kɔmjuteitə]	[комъютэйто]	Коммутатор
Branching device	[bra:nʧiŋ di’vais]	[бранчин дивайс]	Устройство разделения
Crossboard	[krɔsbɔ:d]	[кросбод]	Кросс
Tone channel	[təun ‘tʃænl]	[тоун ченнел]	Канал тональной частоты
PDC (Primary Digital Channel)	[pi: di: si:] [‘praiməri ‘diʤitl ‘tʃænl]	[пи ди си] [праймари диджитал ченнел]	Основной цифровой канал
RS-232 (Recommended Standard 232)	[a: es 232] [rekə’mendid ‘stædəd tu: θri tu:]	[а эс 232] [рекомендид стэндэд ту сри ту]	Последовательный порт (Рекомендованный стандарт №232)
Ethernet	[‘i:θenet]	[изернет]	Эзернет
Power supply	[‘pauə sə’plai]	[пауэ саплай]	Устройство подачи питания

4 Структура мультиплексора ввода-вывода

Технико-лингвистическое описание мультиплексора ввода-вывода (рисунок 7.3) представлено в таблице 7.3.

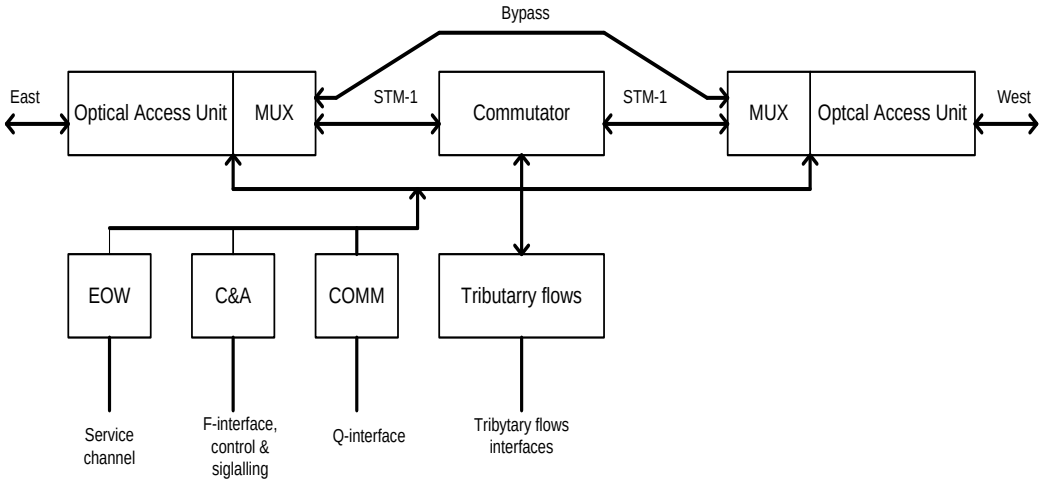


Рисунок 7.3 - Структура мультиплексора ввода-вывода

Таблица 7.3 - Технико-лингвистическое описание мультиплексора ввода-вывода

Optical Access Unit	[ɔptikəl ækses ju:nit]	[оптикл эксэсс юнит]	Блок оптического доступа
MUX (Multiplexor)	[em ju: eks] ‘mʌltipleksɔ	[эм ю экс] [малтиплексо]	Мультиплексор
Commutator	[‘kɔmjuteitə]	[комъютэйто]	Коммутатор
Bypass	[‘baipa:s]	[байпас]	Обход
STM (Synchronous Transport Module)	[es ti: em] [‘siŋkrənəs ‘trænspɔ:t ‘mɔdju:l]	[эс ти эм] [синкронос трэнспот модъюл]	Синхронный транспортный уровень
EOW (Engineering Order Wire)	[i: əu: 'dʌblju:] [,enʤin’niətiŋ ɔ:də waiə]	[и оу даблю] [энджинирин оде уайэ]	Технологический служебный канал
Service Channel	[‘sə:vis ‘tʃænl]	[сёвис ченнел]	Канал обслуживания
C&A Calibration and Checkout (C&C)	[kælibreiʃn ənd ʧ ekaut] [si: ənd si:]	[си энд эй кэлибрэйшн энд чекаут]	калибровка и проверка
F-interface, control & signalling	[ef ,intə’feis kən’trəul ənd sign’alliŋ]	[эф интофейс, контрул энд сигналлин]	Контроль и сигнализация
COMM	[kɔ:m]	[ком]	последовательный порт
Q-interface	[kju: ,intə’feis]	[Кью интофейс]	Технологический служебный канал
Tributary flows	[‘tribjutəri fləuz]	[трибъютари флоуз]	Трибутарные потоки
Tributary flows interface	[‘tribjutəri fləuz ,intə ’feis]	[трибъютари флоуз интофейс]	Интерфейс трибутарных потоков

5 Структура кадра STM-1

Технико-лингвистическое описание структуры кадра (рисунок 7.4) представлено в таблице 7.4.

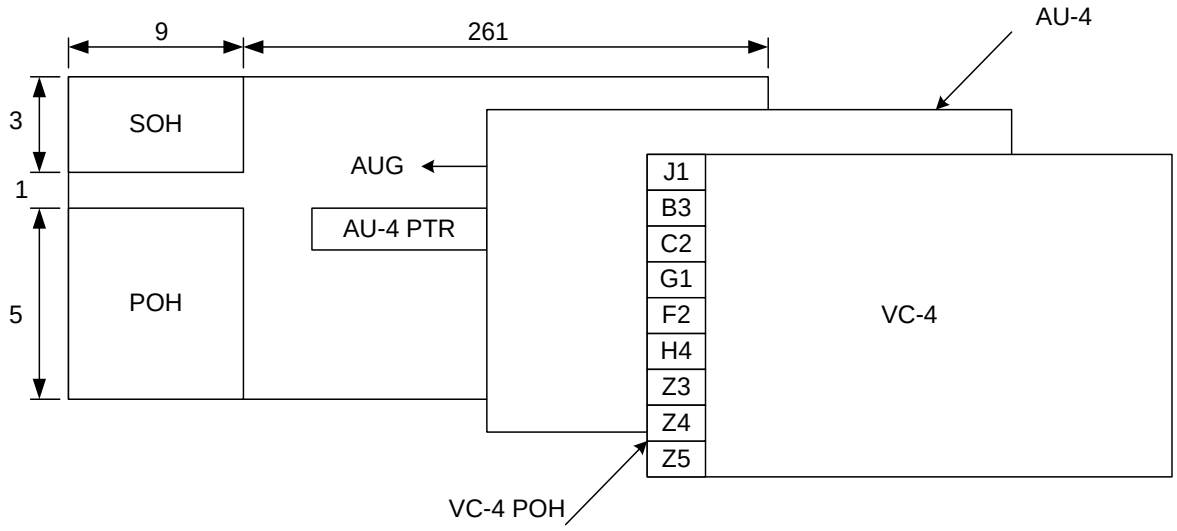


Рисунок 7.4 - Структура кадра STM-1

Таблица 7.4 - Технико-лингвистическое описание структуры кадра

VC (Virtual Container)	[vi: si:] [‘və:ʧjuəl kən’teinə]	[ви си] [вёчуал контейнэ]	Виртуальный контейнер
J	[ʤei]	[джей]	Указатель пути
B	[bi:]	[би]	контроль качества
C	[si:]	[си]	Формат контейнера
G	[ʤi:]	[джи]	Подтверждение ошибки передачи
F	[ef]	[эф]	Служебный
H	[eiʧ]	[эйч]	Индикация суперкадра
Z	[zed]	[зед]	Национальный резерв
POH (Path Overhead)	[pi: əu eiʧ] [pa: θ əuvə’hed]	[пи оу эйч] [пас оувэхэд]	Заголовок тракта
PTR (Pointer)	[pi: ti: a:] [‘pɔintə]	[пи ти а] [пойнтэ]	Указатель
AU (Administrative Unit)	[ei: ju:] [əd’ministrətiv ‘ju:nit]	[эй ю] [эдминистрэтив юнит]	Административный блок
AUG (Administrative Unit Group)	[[ei: ju: ʤi:] [əd’ministrətiv ‘ju:nit grou:p]	[эй ю джи] [эдминистрэтив юнит груп]	Групповой административный блок
SOH (Section overhead)	[es əu eiʧ] [‘sekʃn əuvə’hed]	[эс оу эйч] [сэкшн оувехэд]	Секционный заголовок

6 Организация STM-1 в соответствии с G.709 ITU-T

Общая схема мультиплексирования составных элементов модуля STM-1 представлена на рисунке 7.5, а технико-лингвистическое описание схема мультиплексирования представлено в таблице 7.5.

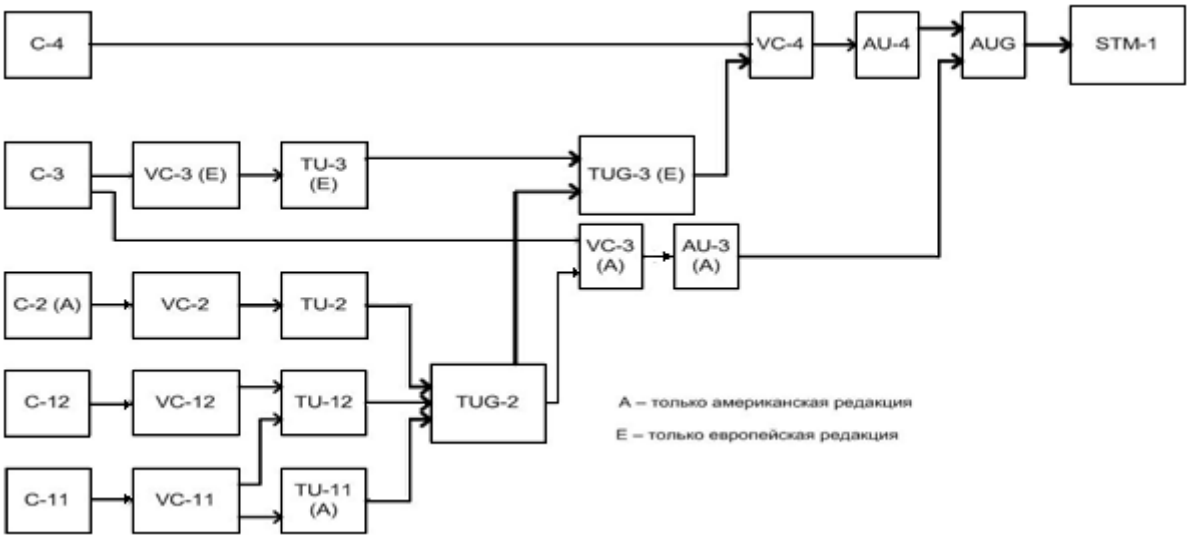


Рисунок 7.5 - Общая схема мультиплексирования в STM-1

Таблица 7.5 - Технико-лингвистическое описание мультиплексировани в STM-1

STM (Synchronous Transport Module)	[es ti: em] [‘siŋkrənəs ‘trænspɔ:t ‘mɔdju:l]	[эс ти эм] [синкронос трэнспот модъюл]	Синхронный траспортный модуль
C (Container)	[si:] [kən’teinə]	[си] [контэйнэ]	Контейнер
VC (Virtual Container	[vi: si:] [‘və:tʃjuəl kə n’teinə]	[ви си] [вёчуал контэйнэ]	Виртуальный контейнер
TU (Tributary Unit)	[ti: ju:] [‘tribjutəri ju:nit]	[ти ю] [трибъютари юнит]	Трибутарый блок
TUG (Tributary Unit Group)	[ti: ju: dʒi:] [‘tribjutəri ju:nit grou:p]	[ти ю джи] [трибъютари юнит груп]	Групповой трибутарный блок
AU (Administrative Unit)	[ei: ju:] [əd’ministrətiv ‘ju:nit]	[эй ю] [эдминистрэтив юнит]	Административный блок
AUG (Administrative Unit Group)	[[ei: ju: dʒi:] [əd’ministrətiv ‘ju:nit grou:p]	[эй ю джи] [эдминистрэтив юнит груп]	Групповой административный блок

7 Обобщённая функциональная схема терминального мультиплексора

Технико-лингвистическое описание схема терминального мультиплексора (рисунок 7.6) представлено в таблице 7.6.

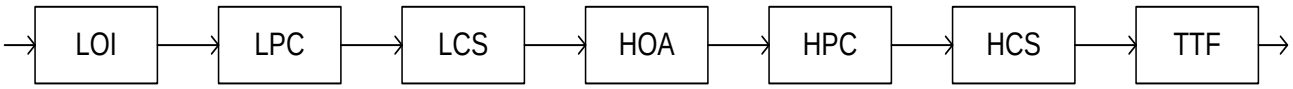


Рисунок 7.6 - Схема терминального мультиплексора

Таблица 7.6 - Технико-лингвистическое описание терминального мультиплексора

LOI (Lower Order Interface)	[el əu ai] [ləuə ɔ:də in’tə:feis]	[эл оу ай] [луэ одэ интофэйс]	Интерфейс формирования виртуального контейнера VC-12
LPC (Lower order Path Connection)	[el pi si] [ləuə ɔ:də pa:θ kə’nek ʃən]	[эль пи си] [луэ одэ пас конэкшн]	Модуль коммутации трактов низшего порядка
LCS (Lower order Connection Supervision)	[el ci es] [ləuə ɔ:də kə’nek ʃən ,sju:pə’vi ʒən]	[эль си эс] [луэ одэ коннекшн сьюпевижн]	Модуль контроля подключения трактов низшего порядка (Функция контроля соединений VC нижнего уровня)
HOA (Higher Order Assembler)	[eiʧəu ei] [‘hai ə ‘ɔ:də ə’semblə]	[эйч оу эй] [хайэ одэ эсэмблэ]	Модуль сборки информационных структур высшего порядка (Сборка VC верхнего уровня)
HPC (Higher Order Path Connection)	[eiʧ pi: si:] [‘hai ə ‘ɔ:də pa: θ kə’n əkʃn]	[эйч пи си] [хайэ одэ пас конэкшн]	Модуль коммутации трактов высшего порядка
HCS (Header Check Sequence)	[eiʧ ci: es] [‘hedə ʧek ‘si:kwəns]	[эйч си эс] [хэдэ чек сикуэнс]	Последователь-ность проверки заголовка
TTF (Transport Terminal Function)	[ti ti ef] ['trænspɔ:t ‘tə:minl ‘fʌŋkʃn]	[ти ти эф] [трэнспот тёминл фанкшн]	Модуль с функциями транспортного терминала

Технико-лингвистическое описание схемы блока TTF (Transport Terminal Function) (рисунок 7.7) терминального мультиплексора представлено в таблице 7.7.

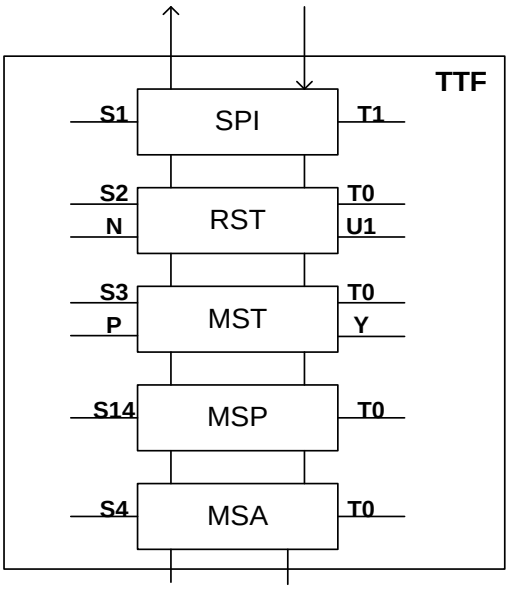


Рисунок 7.7 - Схема блока TTF терминального мультиплексора

Таблица 7.7 - Технико-лингвистическое описание блока TTF терминального мультиплексора

TTF (Transport Terminal Function)	[ti ti ef] ['trænspɔ:t ‘tə:minl ‘fʌŋkʃn]	[ти ти эф] [трэнспот тёминл фанкшн]	Модуль с функциями транспортного терминала
SPI (Synchronous Physical Interface (SDH Physical Interface))	[es pi ai] [‘siŋkrənəs ‘fizikəl ,intə’feis]	[эс пи ай] [синкроноус физикл интофейс]	Синхронный физический интерфейс
RST (Regeneration Section Termination)	[a: es ti] [ri,ʤenə’rei ʃn sekʃn ,tə:mi’neiʃn]	[а эс ти] [ридженорэйшн сэкшн тёминэйшн]	Окончание секции регенерации
MST (Multiplex Section Termination)	[em es ti] [‘mʌltipleks sekʃn ,tə:mi’neiʃn]	[эм эс ти] [малтиплекс сэкшн тёминэйшн]	Окончание секции мультиплекси-рования
MSP (Multiplex Section Protection)	[em es pi] [‘mʌltipleks sekʃn prə’tekʃn]	[эм эс пи] [малтиплекс сэкшн протэкшн]	Защита секции мультиплекси-рования
MSA (Multiplex Section Adaptation)	[em es ei] [‘mʌltipleks sekʃn ,ædæp’teiʃn]	[эм эс эй] [малтиплекс Сэкшн эдэптэйшн]	Адаптация секции мультиплекси-рования

Технико-лингвистическое описание схемы блока HCS (Header Check Sequence) (рисунок 7.8) терминального мультиплексора представлено в таблице 7.8.

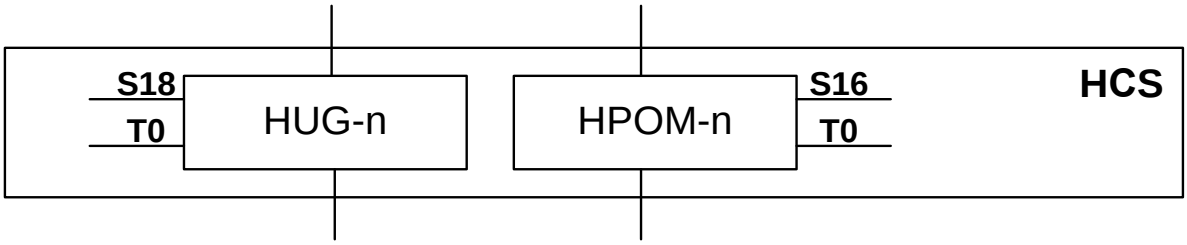


Рисунок 7.8 - Схема блока HCS терминального мультиплексора

Таблица 7.8 - Технико-лингвистическое описание блока HCS терминального мультиплексора

HCS Header Check Sequence	[eitʃ ci: es] [‘hedə tʃek ‘si:kwəns]	[эйч си эс] [хэдэ чек сикуэнс]	Последовательность проверки заголовка
HUG (Higher order Unequipped Generator)	[eitʃ ju: dʒi:] [‘hai ə ‘ɔ:də ʌni’kwipt ‘dʒenəreitə]	[эйч ю джи] [хайэ Одэ аникуипт дженерэйто]	Генератор загрузки тракта высшего порядка
HPOM (Higher order Path Overhead Monitor)	[eitʃ pi: əu em] [‘hai ə ‘ɔ:də pa:θ ‘əuvəhed ‘mɔnitə]	[эйч пи оу эм] [хайэ одэ пас оувэхэд монито]	Монитор заголовка тракта высшего порядка

Технико-лингвистическое описание схемы блока HOA (Higher Order Assembler) (рисунок 7.9) терминального мультиплексора представлено в таблице 7.9.

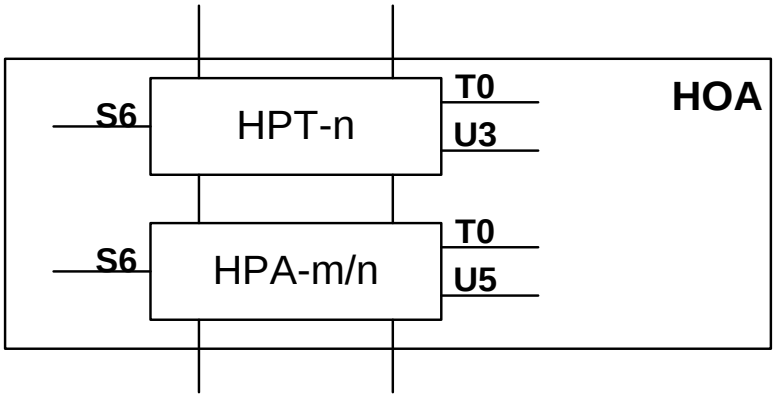


Рисунок 7.9 - Схема блока HOA терминального мультиплексора

Таблица 7.9 - Технико-лингвистическое описание блока HOA терминального мультиплексора

HOA (Higher Order Assembler)	[eiʧəu ei] [‘hai ə ‘ɔ:də ə’semblə]	[эйч оу эй] [хайэ одэ эсэмблэ]	Модуль сборки информационных структур высшего порядка (Сборка VC верхнего уровня)
HPT (Higher Order Path Termination)	[eiʧ pi: ti:] [‘hai ə ‘ɔ:də pa: θ ,tə:mi’neiʃn]	[эйч пи ти] [хайэ Одэ пас тёминэйшн]	Окончание тракта высшего порядка
HPA (Higher Order Path Adaptation)	[eiʧ pi: ti:] [‘haiə ‘ɔ:də pa: θ ,ædæp’teiʃn]	[эйч пи эй] [хайэ Одэ пас эдэптэйшн]	Адаптация тракта высшего порядка

Технико-лингвистическое описание схемы блока LCS (Lower order Connection Supervision) (рисунок 7.10) терминального мультиплексора представлено в таблице 7.10.

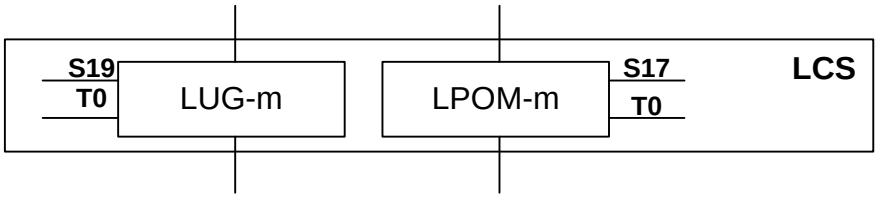


Рисунок 7.10 - Схема блока LCS терминального мультиплексора

Таблица 7.10 - Технико-лингвистическое описание блока LCS терминального мультиплексора

LCS (Lower order Connection Supervision)	[el ci es] [ləuə ɔ:də kə’nek ʃn ,sju:pə’vi ʒn]	[эл си эс] [луэ одэ коннекшн сьюпевижн]	Модуль контроля подключения трактов низшего порядка (Функция контроля соединений VC нижнего уровня)
LUG (Lower order Unequipped Generator)	[el ju: ʤi] [ləuə ɔ:də ,ʌni’kwipt ‘ʤen əreitə]	[эль ю джи] [луэ одэ аникуипт дженерэйто]	Генератор загрузки тракта низшего порядка (Функция формирования незагруженного VC нижнего уровня (SDH))
LPOM (Lower Order Path Overhead Monitor)	[el pi əu em] [ləuə ɔ:də pa:θ ‘əuvəhed ‘mɔnitə]	[эл пи оу эм] [луэ Одэ пас оувэхэд монито]	Монитор трактового заголовка тракта низшего порядка

Технико-лингвистическое описание схемы блока LOI (Lower Order Interface) (рисунок 7.11) терминального мультиплексора представлено в таблице 7.11.

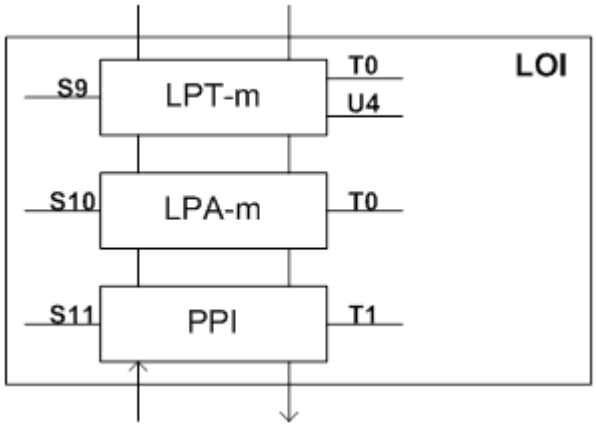


Рисунок 7.11 - Схема блока LOI терминального мультиплексора

Таблица 7.11 - Технико-лингвистическое описание блока LOI терминального мультиплексора

LOI (Lower Order Interface)	[el əu ai] [ləuə ɔ:də in’tə:feis]	[эл оу ай] [луэ одэ интофэйс]	Интерфейс формирования виртуального контейнера VC-12
LPT (Lower order Path Termination)	[el pi ti] [ləuə ɔ:də pa:θ ,tə:mi’neiʃn]	[эл пи ти] [луэ одэ пас тёминэйшн]	Окончание тракта низшего порядка
LPA (Lower order Path Adaptation)	[el pi ei] [ləuə ɔ:də pa:θ ,ædæp’teiʃn]	[эл пи эй] [луэ одэ пас эдэптэйшн]	Адаптация тракта низшего порядка
PPI	[pi pi ai] in’tə:feis]	[пи пи ай]	Плезиохронный физический интерфейс

Технико-лингвистическое описание схемы блока HOI (Higher Order Interface) (рисунок 7.12) терминального мультиплексора представлено в таблице 7.11.

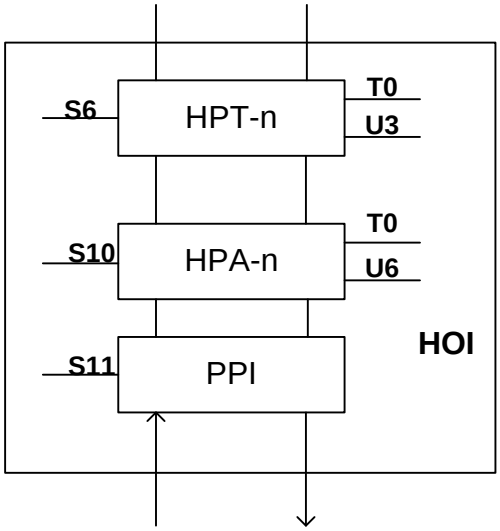


Рисунок 7.12 - Схема блока HOI терминального мультиплексора

Таблица 7.12 - Технико-лингвистическое описание блока HOI терминального мультиплексора

HOI (Higher Order Interface)	[eiʧ əu ai] [‘haiə ‘ɔ:də in’tə:feis]	[эйч оу ай] [хайэ одэ интофэйс]	Интерфейс тракта высшего порядка
HPT (Higher Order Path Termination)	[eiʧ pi: ti:] [‘hai ə ‘ɔ:də pa: θ ,tə:mi’neiʃn]	[эйч пи ти] [хайэ одэ пас тёминэйшн]	Окончание тракта высшего порядка
HPA (Higher order Path Adaptation)	[eiʧ pi: ei] [‘haiə ‘ɔ:də pa: θ ,ædæp’teiʃn]	[эйч пи эй] [хайэ Одэ пас эдэптэйшн]	Адаптация тракта высшего порядка
PPI PDH Physical Interface	[pi pi ai] [pi di eiʧ ‘fizikəl in’tə:feis]	[пи пи ай] [пи ди эйч физикл интофэйс]	Плезиохронный физический интерфейс (Физический интерфейс плезиохронной цифровой иерархии)

8 Упражнение

В общем случае схема мультиплексования и преобразования сигнала в мультиплексоре системы SDH соответствует представленной полной функциональной схеме терминального мультиплексора (рисунок 7.13) согласно рекомендациям МСЭ-Т G.707, G.803

Для закрепления полученных знаний об устройстве мультиплексора рекомендуется мультиплексировать трибутарные потоки с отработкой произношения названия функциональных блоков и демультиплексировать агрегатированные потоки.

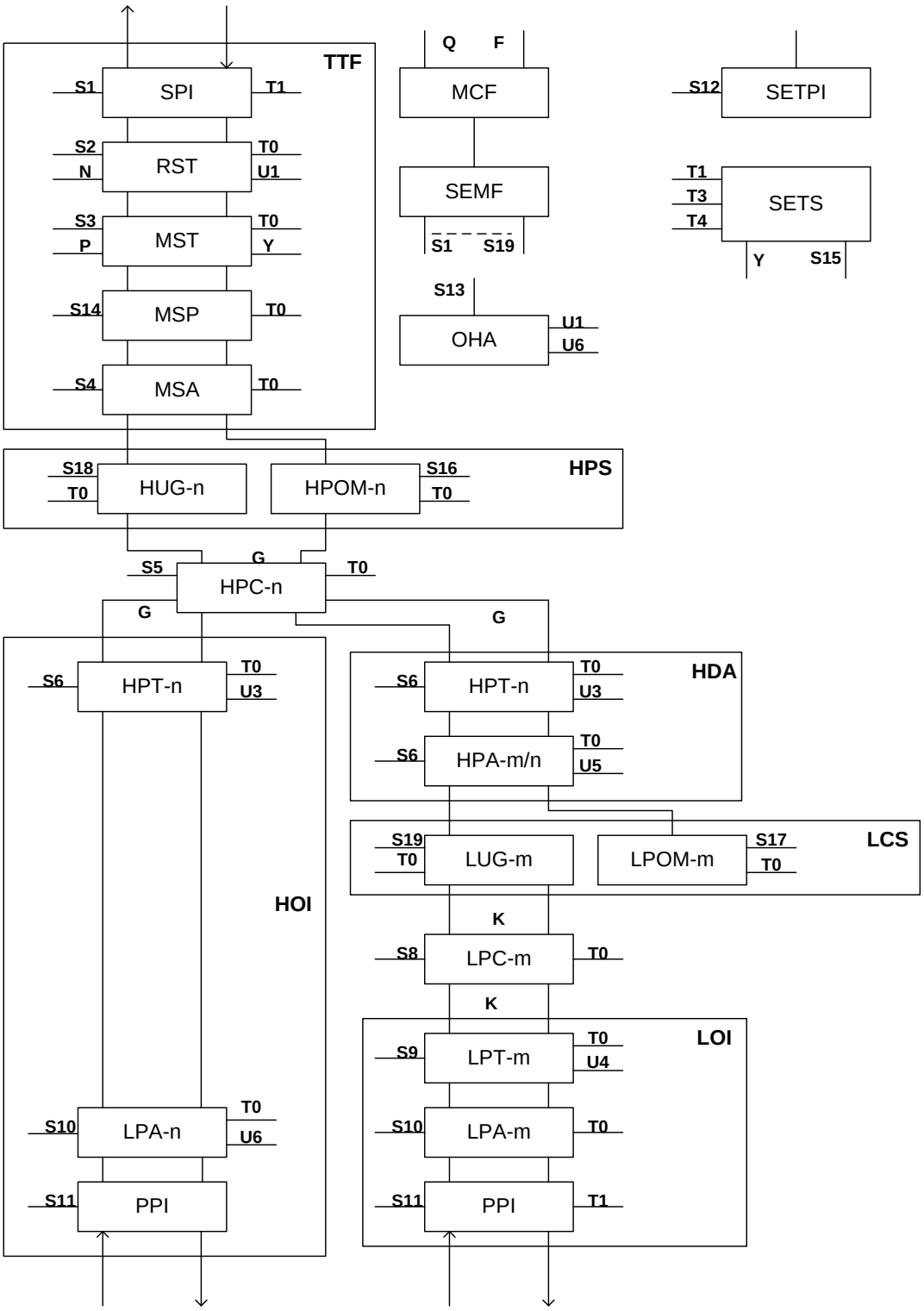


Рисунок 7.13 - Полная функциональная схема терминального мультиплексора

Таблица 7.13 - Технико-лингвистическое описание функциональной схемы терминального мультиплексора

MCF (Message Carrying Function)	[em si ef] [‘mesiʤ kæriiŋ ‘fʌŋkʃn]	[эм си эф] [мэсидж кэриин фанкшн]	Функция переноса сообщения
SEMF (Synchronous Equipment Management Function)	[es i: em ef] [‘siŋkrənəs i’kwipmənt ‘mæniʤmənt ‘fʌŋkʃn]	[эс и эм эф] [синкронос икуипмент мэниджмент фанкшн]	Функция управления синхронным оборудованием
OHA (Overhead Access/Overhead Access function)	[əu eitʃ ei] [‘əuvəhed ‘ækses/‘ əuvəhed ‘ækses ‘fʌŋkʃn]	[оу эйч эй] [оувэхэд эксэс /оувэхэд эксэс фанкшн]	Блок доступа к заголовку
SETPI Synchronous equipment timing physical interface	[es i: ti: pi: ai] [‘siŋkrənəs i’kwipmənt ‘taimiŋ ‘fizikəl ,intə:feis]	[эс и ти пи ай] [синкронос икуипмент таймин физикл интофэйс]	Блок физического интерфейса сигналов тактирования
SETS Synchronous equipment Timing source	[es i: ti: es] [‘siŋkrənəs i’kwipmənt ‘taimiŋ sɔ:S]	[эс и ти эс] [синкронос икуипмент Таймин сос]	Источник тактовых сигналов синхронного оборудования

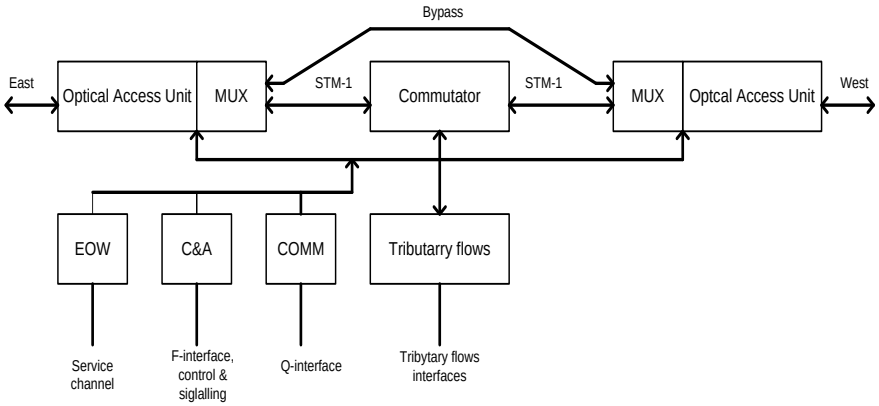
Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Выполненное упражнение.
4. Выводы.

Контрольные вопросы (ОПК-2):

1. Технико-лингвистическое описание структуры магистрали.
2. Раскрыть структуру мультиплексора ввода-вывода



Изложить структура кадра STM.

3. Изложить основные функциональные блоки мультиплексора на английском языке.

Список рекомендованных источников

4. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. – М: Горячая линия-Телеком, 2013.
5. Гордиенко, В.В. Крухмалёв, А.Д. Моченов, Р.Ф. Шарафутдинов. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов: – М: Горячая линия-Телеком, 20011.
6. Крухмалев В. В., Гордиенко В.Н., А. Д. Моченов. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. М.: Горячая линия - Телеком, 2012.

Практическое занятие 8

Изучение процесса формирования синхронного транспортного модуля STM-1

Задание:

Изучить алгоритм формирования STM-1 и содержание составляющих блоков.

Краткие теоретические сведения

1 Основные принципы организации и функционирования сетей на основе аппаратуры SDH

В транспортной сети SDH передача трибутарных сигналов осуществляется с помощью определенных информационных блоков. В свою очередь, информационные блоки соответственно иерархии транспортируются друг в друге.

Информационный блок - это последовательность байтов, которая характеризуется:

- длительностью во времени;
- количеством байтов (объемом, скоростью)
- составом байтов по их функциональному назначению.

Длительность всех информационных блоков равна, как правило, 125 мкс.

Количество байтов в разных информационных блоках различно.

Байты по их функциональному назначению подразделяются на:

- служебные, которые образуют служебные элементы информационных блоков;
- информационные, которые предназначены для передачи трибутарных сигналов.

Различают следующие служебные элементы информационных блоков:

- стаффинг;
- заголовок;
- указатель.

Служебные элементы занимают заданные фиксированные позиции в информационных блоках.

Основные операции, используемые в SDH:

- группообразование;
- выравнивание скоростей сигналов при формировании контейнеров С;
- выравнивание скоростей при загрузках трибутарных (административных) блоков;
- генерация трактовых (секционных) заголовков и указателей;
- мультиплексирование;
- генерация аварийных сообщений и их передача с последующим отслеживанием;
- контроль качества передачи.

1.1 Группообразование в SDH

Цифровой тракт SDH представляет собой комплекс программно-технических средств, предназначенный для передачи сигналов электросвязи с определенной скоростью.

В SDH полезный сигнал передается по цифровому тракту с использованием соответствующих информационных блоков:

- линейный тракт - блок STM-N;
- сетевой тракт - блок VC.

В SDH объединение цифровых трактов, предназначенных для передачи трибутарных сигналов, осуществляется посредством формирования информационных блоков STM-N из N информационных блоков STM-1 и формирования информационных блоков TUG из информационных блоков TU при образовании STM-1.

На рисунке 8.1 представлена схема формирования STM-1 из различных трибутарных сигналов.

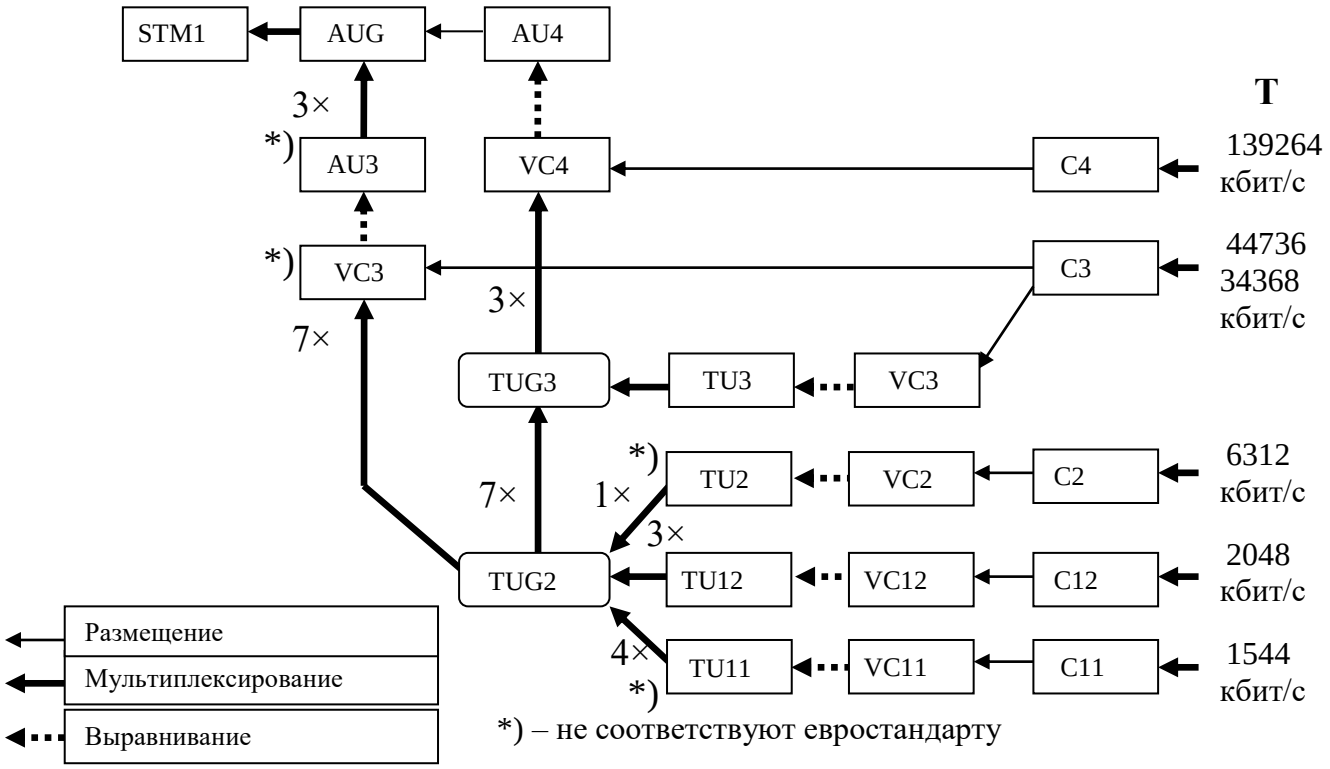


Рисунок 8.1- Схема формирования STM-1

Входные плезиохронные сигналы (трибутарные сигналы-Т), предназначенные для передачи по сети связи, синхронизируются определенным образом с циклом информационного блока STM-1, образуя сначала контейнеры, а затем виртуальные контейнеры. Далее виртуальные контейнеры загружаются в трибутарные блоки, которые синхронизированы с циклом STM-1.

Трибутарные блоки мультиплексируются побайтно (одной или несколькими ступенями) и, после этого, образуют контейнер высшего порядка VC-4. Контейнер высшего порядка загружается в административный блок AU-4, который может быть равнозначен административному блоку AUG. Блок AUG преобразуется в STM-1.

На рисунке 8.1 приняты следующие обозначения:

Т - трибутарный плезиохронный сигнал (1,5, 2, 6, 34, 44, 140 Мбит/с), передаваемый по сети SDH. Далее в пособии будут рассматриваться плезиохронные сигналы со скоростями, принятыми в европейской иерархии PDH (2; 34; 140 Мбит/с).

С - контейнер. Информационный блок, который с помощью стаффинга согласовывает с модулем STM-1 определенный объем трибутарного сигнала с точностью до одного или нескольких битов. Различают несколько типов контейнеров:

- низкого уровня (LO) - С - 11, С - 12, С - 2,
- высокого уровня (НО) - С-3, С - 4.

Указанные контейнеры предназначены для передачи плезиохронных сигналов соответственно с частотой 1,544 Мб/с; 2,048 Мб/с; 6,312 Мб/с; 34,368 (44,736) Мб/с; 139,264 Мб/с.

VC - виртуальный контейнер. Информационный блок, состоящий из контейнера С и трактового заголовка POH. POH добавляется в пункте формирования VC и устраняется в пункте расформирования VC. Различают VC высокого уровня (НО): VC-3, VC-4 и VC низкого уровня (LO): VC-11, VC-12, VC-2.

TU - трибутарный блок. Информационный блок, согласованный с циклом модуля STM-1, состоящий из указателя PTR и полезного пространства, предназначенного для загрузки виртуального контейнера своего уровня. Указатель содержит информацию о положении виртуального контейнера по отношению к началу виртуального контейнера следующего более высокого уровня, в котором размещается TU. Кроме того, указатель осуществляет выравнивание скорости транзитного VC под скорость загружаемого TU. Различают следующие TU: TU-11, TU-12, TU-2, TU-3.

Информационные блоки С -11, С -12, С - 2, VC-11, VC-12, VC-2; TU-11, TU-12, TU-2 формируются в отличие от остальных из четырех информационных блоков длительностью 125 мкс каждый, образующих сверхцикл длительностью 500 мкс.

TUG - трибутарный групповой блок. Информационный блок, полученный из одного трибутарного блока и стаффинга или нескольких трибутарных блоков путем их побайтного мультиплексирования и стаффинга. Различают следующие TUG: TUG-2, TUG-3.

AU-4 - административный блок. Информационный блок, согласованный с циклом модуля STM-1, состоящий из указателя PTR и полезного пространства, предназначенного для загрузки виртуального контейнера VC-4.

Указатель содержит информацию о положении начала VC-4 относительно начала цикла модуля STM-1. Кроме того, указатель осуществляет выравнивание скорости транзитного VC - 4 под скорость загружаемого AU.

AUG - административный групповой блок. Блок формируется в том случае, когда образуются административные блоки AU-3 для передачи VC-3. В этом случае блоки AU-3 уплотняются по байтам в одну группу административных блоков AUG. При передаче VC-4 групповой административный блок полностью соответствует AU-4.

STM-1 - синхронный транспортный модуль 1-го уровня. Основной элемент синхронной цифровой иерархии, состоящий из AUG и секционного заголовка SOH. Предназначен для передачи по линиям и для образования транспортных модулей более высокого уровня STM-N.

Информационные блоки AU3 и VC3, организуемые из семи TUG2, являются производными трибутарных потоков американской плезиохронной иерархии, и, следовательно, в европейской иерархии не организуются.

Цифровые тракты SDH подразделяются на цифровые тракты высокого уровня: четверичный цифровой тракт (ЧЦТ), третичные цифровые тракты (ТЦТ) и цифровые тракты низкого уровня - первичные цифровые тракты (ПЦТ).

Исходя из указанной схемы, Группообразование STM-1 может включать в себя следующие варианты:

- 63 ПЦТ;
- 3 ТЦТ;
- 21 ПЦТ + 2 ТЦТ;
- 42 ПЦТ + 1 ТЦТ;
- 1 ЧЦТ.

1.2 Выравнивание скоростей сигналов при формировании контейнера С

Формирование контейнера осуществляется путем размещения в нем входного трибутарного сигнала определенного объема. В процессе этого формирования осуществляется выравнивание скорости и объема входного сигнала под скорость и объем сигнала контейнера. Эта процедура осуществляется в период, называемый циклом выравнивания скоростей, который может отличаться от длительности контейнера.

Циклу выравнивания для различных контейнеров соответствуют:

- строка контейнера для контейнера С4;
- три строки контейнера (1-3,4-6,7-9) для контейнера С3;
- контейнер - сверхцикл (четыре подцикла С-12)...для контейнера С12.

Значение цикла выравнивания определяется требованиями к нестабильности частоты плезиохронных сигналов.

В указанных циклах за счет отклонения частот допускается следующий разброс в количестве битов:

- 1934 - 1935 для С4;
- 1431 - 1433 для С3;
- 1023 - 1025 для С12.

За счет того, что частота (F2) сигнала контейнера принимается всегда большей частоты (F1) входного сигнала, в цикле выравнивания объем в байтах сигнала контейнера всегда больше объема в байтах входного сигнала.

Грубое выравнивание корректирует основную часть разницы между частотами F1 и F2, выражаемой в байтах за цикл выравнивания.

Грубое выравнивание всегда положительное. Это выравнивание заключается во вставлении в определенные места контейнера стаффинговых байтов.

Точное выравнивание корректирует разницу между частотами F1 и F2, выражаемую в недостатке или излишестве одного бита загружаемого сигнала за цикл выравнивания.

Точное выравнивание осуществляется с помощью битов управления выравниванием (С1-для положительного и С2-для отрицательного выравнивания) и битов возможности выравнивания (Sl-для положительного и S2-для отрицательного выравнивания). Биты *S* являются информационными битами (I) при С = 0 и являются битами стаффинга (R) при С=1.

При нулевом выравнивании во всех циклах выравнивания:

- С1=0, S1=I;
- С2=1, S2=R.

При положительном выравнивании возникает ситуация, когда в цикле выравнивания не достает одного бита входного сигнала. В этом цикле:

- C1=1, S1=R;
- C2=1, S2=R.

При отрицательном выравнивании возникает ситуация, когда в цикле имеется лишний бит входного сигнала. В этом цикле:

- C1=0, S1=I;
- C2=0, S2=1.

Необходимо напомнить, что биты возможности выравнивания и биты управления выравниванием находятся в определенных байтах цикла выравнивания контейнера С. При этом, для обеспечения требуемой достоверности биты управления выравниванием повторяются в нескольких байтах цикла выравнивания контейнера С.

1.3 Выравнивание скоростей при загрузке трибутарного (административного) блока TU/AU

При перезагрузке виртуального контейнера VC из одного трибутарного блока в другой, что имеет место в пункте с транзитом по VC, возникает необходимость согласования скорости сигнала VC под скорость сигнала загружаемого трибутарного блока, т.к. они формируются разными источниками. Это выравнивание осуществляется с помощью указателя PTR блока TU/AU. Выравнивание осуществляется в пределах цикла (сверхцикла) организации TU/AU и VC.

Пример нулевого выравнивания.

При нулевом выравнивании длительность цикла VC равна длительности цикла TU/AU. Блок VC все время совпадает во времени с блоком TU/AU. Первый байт POH блока VC сохраняет свою позицию и свой адрес. Значение указателя TU/AU в этом случае остается неизменным.

Пример положительного выравнивания.

Необходимость положительного выравнивания возникает тогда, когда длительность цикла VC больше длительности цикла TU/AU.

Это приводит к отставанию во времени блока VC от блока TU/AU и к смещению блока VC вправо относительно блока TU/AU.

В результате этого смещения значение адреса, определяющего расположение первого байта заголовка POH блока VC в блоке TU/AU, необходимо увеличивать. Это увеличение осуществляется с помощью добавления стаффингового байта на место, следующее за указателем PTR, что индицируется инвертированием нечетных битов указателя PTR, которые определяют адрес первого байта заголовка POH блока VC. В следующем цикле указанные биты восстанавливают свое состояние и значение указателя увеличивается на единицу.

Пример отрицательного выравнивания.

Необходимость отрицательного выравнивания возникает тогда, когда длительность цикла VC меньше длительности цикла TU/AU.

Это приводит к тому, что блок VC опережает во времени блок TU/AU, и блок VC смещается влево относительно блока TU/AU.

В результате этого смещения значение адреса, определяющего расположение первого байта заголовка POH блока VC в блоке TU/AU, необходимо уменьшать. Это уменьшение осуществляется путем записи байта блока VC в резервный байт указателя PTR, что индицируется инвертированием четных битов указателя PTR, которые определяют адрес

первого байта заголовка POH блока. В следующем цикле указанные биты восстанавливают свое состояние и значение указателя уменьшается на единицу.

В соответствии с требованиями к реализации алгоритма выравнивания решение о необходимости положительного или отрицательного выравнивания в очередном цикле принимается при условии, что в предыдущем цикле выравнивание не осуществлялось. При соблюдении этого условия решение о положительном или отрицательном выравнивании в приведенных на рисунках примерах можно принимать по смещению вправо или влево заднего фронта последнего байта VC, загруженного в TU/AU предыдущего цикла, относительно переднего фронта первого байта указателя рассматриваемого цикла. Во всех остальных случаях осуществляется нулевое выравнивание, при котором значение указателя не изменяется.

1.4 Генерация трактовых (секционных) заголовков и указателей

Заголовок. Заголовок состоит из нескольких байтов. Первый байт заголовка располагается в начале информационного блока, остальные байты заголовка располагаются на заданных фиксированных позициях информационного блока.

Заголовок выполняет следующие функции по обслуживанию средств SDH:

- выделения начала отдельных информационных блоков;
- передачи сигнала синхронизации;
- передачи сигналов оповещения;
- контроля качества сигнала информационных блоков;
- передачи сигналов управления;
- организации служебных каналов связи и передачи данных;
- передачи других служебных сигналов.

Информационные блоки VC и STM имеют заголовки, обозначаемые соответственно POH и SOH.

Секционный заголовок SOH подразделяется на:

- RSOH - SOH секции регенератора, три первых строки SOH;
- MSOH - SOH секции мультиплексора, пять последних строк SOH.

Трактовый заголовок (POH) виртуального контейнера VC12 состоит из четырех байтов разнесенных по сверхциклу передачи. Трактовые заголовки виртуальных контейнеров VC3 и VC4 состоят из девяти байтов и расположены в первом столбце матричного представления структуры данных информационных блоков. Структура информационных блоков в SDH такова, что имеется возможность контроля отдельных байтов заголовка, изменения их и дополнения в любое время без изменения полезной нагрузки.

Указатель. Указатель состоит из нескольких байтов. Байты указателя располагаются на заданных фиксированных позициях информационного блока. Указатель выполняет следующие основные функции:

- определяет фазу или месторасположение одного информационного блока по отношению к другому информационному блоку;
- участвует в процедуре выравнивания скорости сигнала одного информационного блока по отношению к сигналу другого информационного блока.

В каждом элементе сети расположение во времени всех указателей, формируемых на передачу блоков TU и AU, привязано к циклу 125 мкс этого элемента сети. К этому же циклу привязан и формируемый на передачу модуль STM-1, т.е. его SOH. Это происходит за счет того, что все они формируются одним источником элемента сети.

Указатель PTR располагается в TU или AU на фиксированных позициях и содержит адрес первого байта трактового заголовка POH в поле TU или AU. Расположение VC в поле TU или AU может изменяться в зависимости от момента времени появления трибутарного сигнала и разницы частот между генераторным оборудованием, которое формирует VC, и генераторным оборудованием, которое формирует TU/AU в транзитном пункте.

Указатель выполняет функции:

- адресации места расположения VC в поле TU/AU;
- коррекции скорости сигнала VC под скорость сигнала TU/AU.

Указатель позволяет знать расположение VC в TU/AU и выделять VC из TU/AU при необходимости.

1.5 Мультиплексирование

В SDH мультиплексирование информационных блоков осуществляется по байтам в циклах длительностью 125 мкс. При этом мультиплексируемые информационные блоки синхронны друг относительно друга, так как их циклы создаются одним источником элемента сети, в котором осуществляется мультиплексирование.

Мультиплексирование при формировании STM-1.

На рисунке 8.2 изображен пример мультиплексирования двух информационных блоков a и b при формировании STM-1.

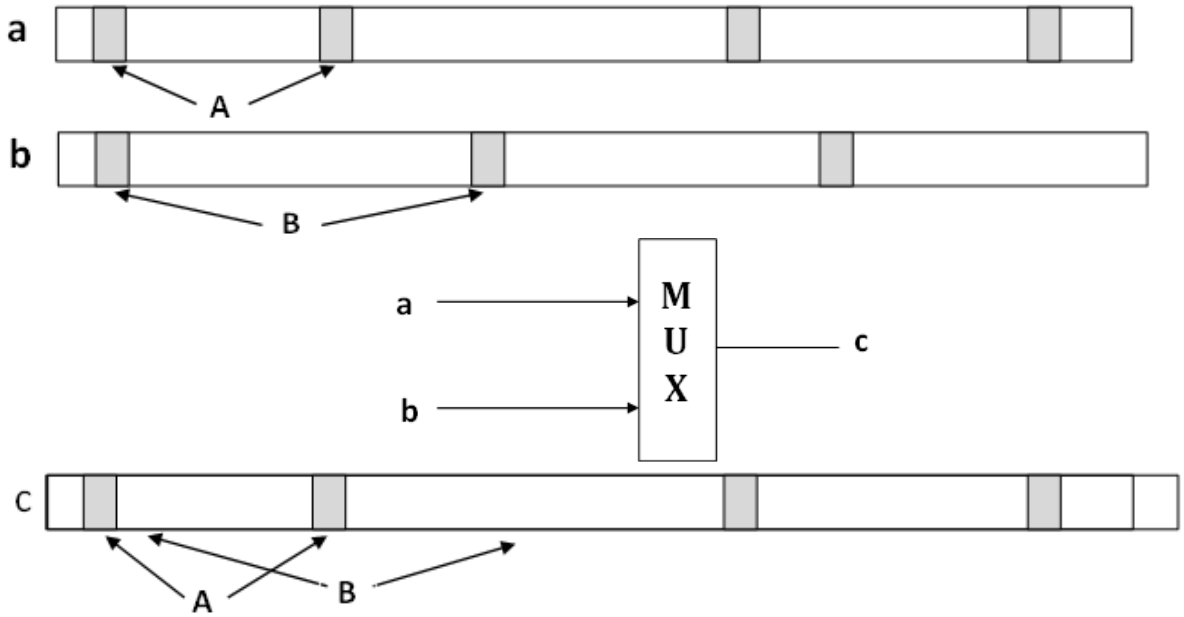


Рисунок 8.2 - Мультиплексирование при формировании STM-1

Структура сигнала информационного блока c аналогична структуре сигналов информационных блоков a и b.

Это обусловлено тем, что мультиплексируемые блоки и их указатели (PTR) формируются одним источником. На рисунке 8.2 А и В – значение указателей в информационных блоках а и b.

Структура сигнала STM-N аналогична структуре сигналов STM-1. Единственная разница состоит в том, что сигнал STM-N включает в себя
Nx9x270 байт при длительности цикла 125 мкс. N базовых сигналов, побайтно, чередуясь друг с другом таким образом, что создают сигнал STM-N, в котором секционные заголовки (SOH), указатели (PTR) и полезный сигнал размещаются также как и в STM-1.

2 Формирование синхронного транспортного модуля

Поток E1 состоит из 32 байтов и имеет скорость передачи – 2048 Кб/с. Цикл передачи –125 мкс, длительность передачи одного бита равна 0,488 мкс
Поток E1 представлен побайтно:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		16
Сл1	КИ1	КИ2	КИ3	КИ4	КИ5	КИ6	КИ7	КИ8	КИ9	КИ10	КИ11	...	КИ15
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28		32
Сл2	КИ16	КИ17	КИ18	КИ19	КИ20	КИ21	КИ22	КИ23	КИ24	КИ25	КИ26	...	КИ30

где: Сл1, Сл2 – служебные байты потока E1;
КИ1 – КИ30 – 30 канальных интервалов.

2.1 Процесс формирования контейнера С-12.

Контейнер С-12 загружается потоком E1 побайтно и в процессе загрузки к каждому циклу E1, состоящему из 32 байтов, добавляется два байта стаффинга и выравнивания скоростей. Сверхцикл контейнера С-12 имеет длительность 500мкс, т.е. каждый сверхцикл контейнера С-12 содержит 4 полных отчета потока E1 по 32 байта каждый и 8 Байтов стаффинга и выравнивания скоростей. Цикл передачи контейнера С-12 состоит из 34 байтов, сверхцикл из 136 байтов, длительность передачи одного бита 0,4595 мкс.

Матричное представление контейнера С-12 представлено ниже.
Цикл передачи контейнера С-12

Цикл С-12 =125мкс Байты потока E1
СТ1-СТ8: байты стаффинга и выравнивания скоростей.
Байты СТ2, СТ4, СТ6, СТ8 отвечают только за стаффинг и целиком заполнены битам фиксированного стаффинга.
Байты СТ1, СТ3, СТ5 имеют вид:

N1 N2 0 0 0 0 R R

где: 0-бит заголовка (без функции)

R-бит стаффинга

Байт СТ7 содержит биты предназначенные для выравнивания скоростей, поэтому он отображен вместе со следующим байтом потока Е1:

C1 C2 R R R R R S1 S2 I I I I I I I

СТ7 Сл1 четвёртого цикла передачи потока Е1

где: С1 - бит управления положительным выравниванием

С2 - бит управления отрицательным выравниванием

R - бит стаффинга

S1, S2 - биты выравнивания скоростей

I - бит полезной нагрузки

В процессе загрузки контейнера С-12 осуществляется выравнивание скоростей (грубое и точное). Грубое выравнивание происходит путем добавления определенного количества стаффинговых байтов. Точное выравнивание осуществляется с помощью битов С1, С2, S1,S2. Выравнивание происходит в четвёртом цикле передачи каждого сверхцикла.

Положительное выравнивание происходит если С1=1 и С2=1 и имеет вид:

C1 C2 R R R R R R R I I I I I I I

СТ7 Сл1 4-го цикла передачи потока Е1(1-ый байт)

Отрицательное выравнивание происходит если С1=0 и С2=0 и имеет вид:

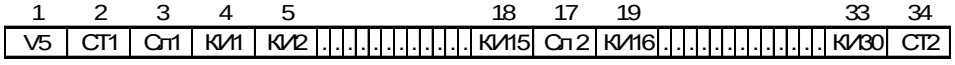
C1 C2 R R R R R I I I I I I I I I

СТ7 Сл1 4-го цикла передачи потока Е1(1-ый байт)

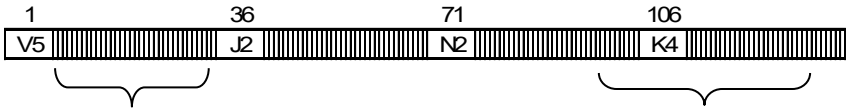
2.2 Процесс формирования виртуального контейнера VC-12

Виртуальный контейнер VC-12 формируется из одного С-12 путем добавления трактового заголовка (Path Over Head). Цикл передачи состоит из 35 байтов и имеет длительность-125мкс, сверхцикл состоит из 140 байтов и имеет длительность – 500 мкс, длительность передачи одного бита - 0,4464 мкс. Трактовый заголовок (POH) состоит из 4 байтов распределенных по сверхциклу. Т.о. сверхцикл передачи виртуального контейнера VC-12 имеет вид:

Цикл передачи VC-12



Сверхцикл передачи VC-12



Байты контейнера С-12 Один цикл передачи VC-12

Байты V5, J2, N2, K4 являются составными частями трактового заголовка (POH). Байт V5 имеет вид:

Р1	Р2	Б3	Б4	СМ1	СМ2	СМ3	Б8

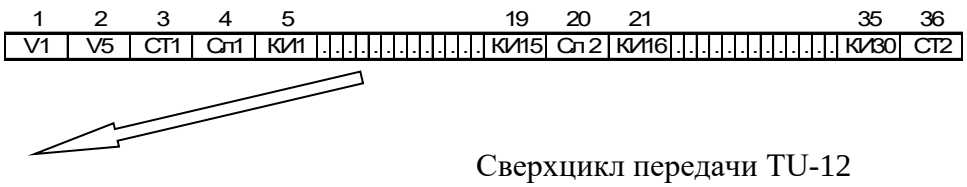
где: Р1, Р2- биты кодового слова BIP-2;
Б3- бит сигнала REI;
Б4- бит сигнала RFI;
СМ1, СМ2, СМ3- биты сигнальной метки тракта;
Б8- бит сигнала FERF.

Кодовое слово BIP-2 формируется в результате проверки контейнера кодом четности для обнаружения ошибок в тракте. Сигнал REI (Remote Error Indication) – это сигнал для оповещения мультиплексора на дальнем конце о приеме его сигнала с ошибками (т.е. если в данном бите передаётся единица, то сигнал принят с ошибками). Сигнал RFI (Remote Failure Indication)- оповещение противоположного пункта об удаленной неисправности. Биты 5,6,7 содержат сигнальную метку тракта:
- 000 - тракт не оборудован;
- 001 - тракт оборудован;
- 010 - асинхронный режим;
- 011 - бит синхронный сигнал;
- 100 - байт синхронный сигнал;
- 101 - зарезервировано для будущего;
- 110 - специальный тестовый сигнал 0181;
- 111-сигнал AIS, VC-AIS. (Alarm Indication Signal)- сигнал индикации аварийного состояния.

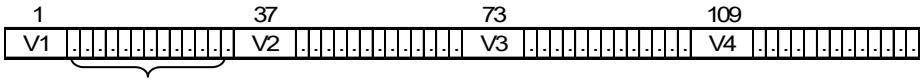
Сигнал FERF (Far End Receive Failure)- оповещение противоположного пункта об отсутствии приема или приеме от него сигнала AIS или при неправильно сформированном сигнале.

2.3. Процесс формирования трибутарного блока TU-12.

Трибутарный блок TU-12 формируется из одного виртуального контейнера VC-12 путем добавления указателя (PTR-Pointer). Цикл передачи составляет 36 байт и имеет длительность 125 мкс; сверхцикл состоит из 144 байт и имеет длительность 500 мкс; длительность передачи одного бита – 0,434мкс. Указатель PTR состоит из 4 байтов распределенных по сверхциклу передачи, по одному байту на цикл. Матричное представление трибутарного блока TU-12 имеет вид:
Цикл передачи TU-12



Сверхцикл передачи TU-12



Байты виртуального контейнера VC-12

Байты V1, V2, V3, V4 – составные части указателя PTR. Байты V1 и V2 имеют вид:

где: NNNN - флаг новых данных;

SS - тип тракта;

I - биты положительного выравнивания;

D - биты отрицательного выравнивания.

Флаг новых данных принимает значение 1001 при новом значении PTR, но не при изменениях, связанных с выравниванием. NNNN принимает значение 0110 при нормальной работе. Изменений в PTR нет. SS - тип тракта. Для TU-12 SS принимает значение 10. Биты I указателя PTR используются при положительном выравнивании, когда длительность цикла VC-12 больше длительности цикла TU-12. D- биты PTR используются при отрицательном выравнивании, когда длительность цикла VC-12 меньше длительности цикла TU-12.

2.4 Процесс формирования трибутарного группового блока TUG-2

Трибутарный групповой блок TUG-2 формируется побайтным мультиплексированием трех трибутарных блоков TU-12. Цикл передачи составляет 108 байт и равен 125 мкс, сверхцикла нет. Длительность передачи одного бита – 144,676 нс.

Матричное представление трибутарного группового блока TUG-2 имеет 9 строк и 12 столбцов. В процессе мультиплексирования байты первого TU-12 занимают места в TUG-2 с номерами 1, 4,7,10 и т.д. Байты второго TU-12 соответственно – 2, 5, 8, 11 и т.д. Третьего TU-12 соответственно – 3,6,9,12 и т.д. Матричное представление трибутарного группового блока TUG-2 имеет вид:

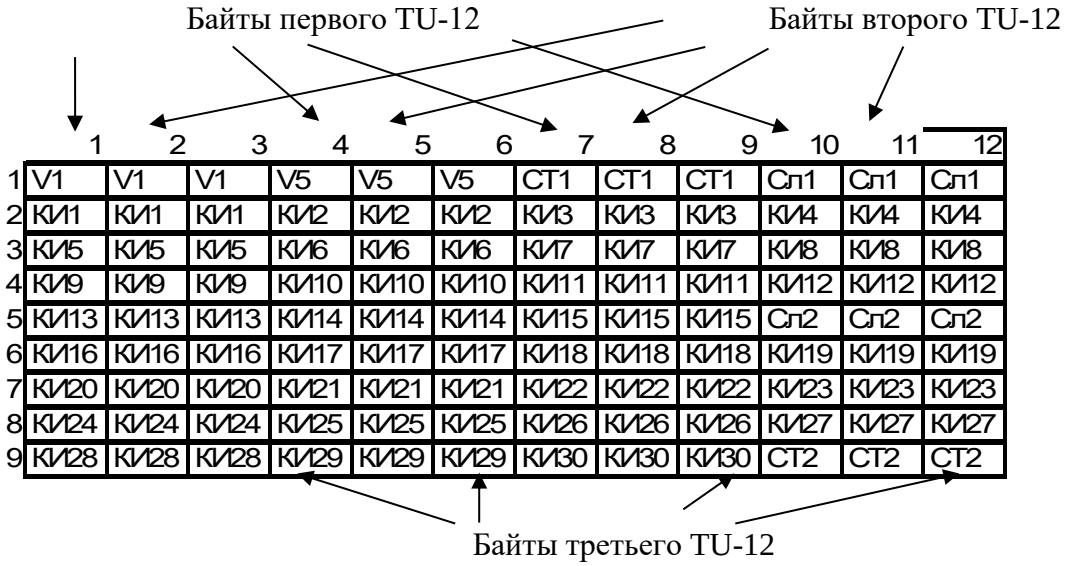


Рисунок 8.3 – Матричное представление трибутарного группового блока TUG-2

Впоследствии при отсутствии выравнивания скоростей структура столбцов сохраняется на любом шаге формирования синхронного транспортного модуля.

2.5 Процесс формирования трибутарного группового блока TUG-3

Трибутарный групповой блок TUG-3 формируется путем мультиплексирования семи трибутарных групповых блоков TUG-2 с последующим добавлением 3-х байтов нулевого указателя (NPI) и 15 байтов стаффинга. Трибутарный групповой блок TUG-3 содержит 774 байта. Цикл передачи – 125 мкс, скорость передачи – 49,536 Мб/с, длительность передачи одного бита – 20,187 нс. Матричное представление трибутарного группового блока TUG-3 содержит 9 строк и 86 столбцов. TUG-3представлен на рисунке 8.4:

	1	2	3	4				8	11	10					16	17				83	84	85	86
1	NPI	FS	V1	V1	.	.	.	V1	V1	V5	.	.	.	.	V5	CT1				Сп1	Сп1	Сп1	Сп1
2	NPI	FS	КИ1	КИ1	.	.	.	КИ1	КИ1	КИ2	.	.	.	.	КИ2	КИ3				КИ4	КИ4	КИ4	КИ4
3	NPI	FS	КИ5	КИ5	.	.	.	КИ5	КИ5	КИ6	.	.	.	.	КИ6	КИ7				КИ8	КИ8	КИ8	КИ8
4	FS	FS	КИ9	КИ9	.	.	.	КИ9	КИ9	КИ10	.	.	.	.	КИ10	КИ11				КИ12	КИ12	КИ12	КИ12
5	FS	FS	КИ13	КИ13	.	.	.	КИ13	КИ13	КИ14	.	.	.	.	КИ14	КИ15				Сп2	Сп2	Сп2	Сп2
6	FS	FS	КИ16	КИ16	.	.	.	КИ16	КИ16	КИ17	.	.	.	.	КИ17	КИ18				КИ19	КИ19	КИ19	КИ19
7	FS	FS	КИ20	КИ20	.	.	.	КИ20	КИ20	КИ21	.	.	.	.	КИ21	КИ22				КИ23	КИ23	КИ23	КИ23
8	FS	FS	КИ24	КИ24	.	.	.	КИ24	КИ24	КИ25	.	.	.	.	КИ25	КИ26				КИ27	КИ27	КИ27	КИ27
9	FS	FS	КИ28	КИ28	.	.	.	КИ28	КИ28	КИ29	.	.	.	.	КИ29	КИ30				CT2	CT2	CT2	CT2

Первый столбец седьмого TUG-2

Первый столбец шестого TUG-2

Первый столбец второго TUG-2 Двенадцатый столбец шестого TUG-2

Первый столбец первогоTUG-2 Двенадцатый столбец седьмого TUG-2

Рисунок 8.4 – TUG-3

NPI (Null Pointer Inndication) - байты нулевого указателя. Они являются имитацией указателя PTR TU-3 формирующегося из потока E3. FS – байты стаффинга.

Мультиплексирование контейнеров TUG-2 происходит побайтно, но так как поле предназначенное для размещения результатов мультиплексирования имеет размеры кратные коэффициенту мультиплексирования, то структура столбцов контейнеров TUG-2 после мультиплексирования остается без изменения. Соответственно столбцы первого TUG-2 занимают в трибутарном групповом блоке TUG-3 столбцы с номерами 3, 10, 17, 24, 31, 38, 45, 52, 59, 66, 73, 80; столбцы второго TUG-2 – столбцы с номерами 4, 11, 18, 25, 32, 39, 46, 53, 67, 74, 81; далее по аналогии.

2.6 Формирование виртуального контейнера VC-4

Виртуальный контейнер VC-4 формируется из 3-х трибутарных групповых блоков TUG-3 путем побайтного мультиплексирования их байтов и добавления трактового заголовка POH VC-4. Матричное представление виртуального контейнера VC-4 состоит из 9-и строк и 261-го столбца. Цикл передачи имеет длительность 125 мкс и состоит из 2349 байт. Скорость передачи – 150,3 Мб/с, длительность передачи одного бита 6,652 нс. Трактовый заголовок POH VC-4 состоит из 27 байт занимающих первые три столбца. Виртуальный контейнер VC-4 представлен на рисунке 8.5:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		261
1	J1	FS	FS	NPI	NPI	NPI	FS	FS	FS	1E1V1	22E1V1	.....	63E1Сл0
2	B3	FS	FS	NPI	NPI	NPI	FS	FS	FS	1E1КИ1	22E1КИ1	.....	63E1КИ4
3	C2	FS	FS	NPI	NPI	NPI	FS	FS	FS	1E1КИ5	22E1КИ5	.....	63E1КИ8
4	G1	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ9	22E1КИ9	.....	63E1КИ12
5	F2	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ13	22E1КИ13	.....	63E1Сл 1
6	F3	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ16	22E1КИ16	.....	63E1КИ19
7	H4	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ20	22E1КИ20	.....	63E1КИ23
8	K3	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ24	22E1КИ24	.....	63E1КИ27
9	N1	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ28	22E1КИ28	.....	63E1СТ2

Байты первого столбца третьего TUG-3

POH VC-4 Байты первого столбца второго TUG-3

Байты первого столбца первого TUG-3 Байты последнего столбца третьего TUG-3

Рисунок 8.5 – Виртуальный контейнер VC-4

где: J1- байт идентификатора тракта;

B3- байт обнаружения ошибок;

C2- байт сигнальной метки;

G1 - байт состояния тракта;

F2, F3 - байты канала пользователя;

H4 - байт индикации сверхцикла;

K3 - байт канала автоматического переключения на резерв APS (Automatic Protection Switching), в нем используются биты 1 - 4;

Nl - байт контроля тандемного соединения на границе двух операторов с использованием битов 1 – 4 и канала передачи данных с использованием битов 5–8;

FS – байты стаффинга.

Байт идентификатора тракта (J2) используется для передачи информации о тракте. Пакет информации имеет длину 64 байта и в каждом виртуальном контейнере VC-4 передаётся очередной байт, а вся информация передаётся за 8 мс. Передаваемая информация позволяет отслеживать трассу прохождения в каждом случае, что особенно важно при наличии переключений. Обнаружение ошибок (B3) в тракте VC-4 производится с использованием BIP-8. Значение байта сигнальной метки в шестнадцатеричной системе счисления:

00 - тракт не оборудован;

01 - тракт оборудован;

02 - структура TUG;

03 - структура TUG;

04 - заполнение сигналами контейнера C3;

12 - заполнение сигналом контейнера C4;

13 - ATM, асинхронный режим;

14 - использование для сети MAN;

15 - использование для сети FDDI;

FE - специальный тестовый сигнал 0181;

FF - сигнал AIS, VC - AIS

Байт состояния тракта (G1) используется для оповещения противоположного пункта о приеме от него сигнала VC-4 с нарушениями качества работы. С помощью битов 1-4 формируется сигнал FEBE путем передачи информации о числе дефектных блоков, обнаруженных кодом B1P-8(B3). При этом используются восемь значений от 0 до 8,остальные значения от 9 до 15 не используются. Если же эти значения появляются, то они интерпретируются как 0 (отсутствие ошибок). Бит 5 инициирует сигнал FERF (значение бита "I") для оповещения противоположного пункта об отсутствии приема или при приеме от него сигнала AIS или при неправильно сформированном сигнале. При нормальном состоянии тракта это бит устанавливается в "O". Биты с 6 по 8 не используются.

Байт F2 предназначен для организации пользователем служебной связи.

Байт индикации сверхцикла (H4) используется как цикловая метка, когда полезная информация распределена по нескольким циклам, т.е. когда используется сверхцикл, например, при передаче контейнеров C 12. Последние два бита байта H4 несут информацию о наличии сверхцикла и используются для идентификации четырех отдельных подциклов.

2.7 Формирование административного блока AU-4

Административный блок AU-4 формируется путем загрузки виртуального контейнера VC-4 в пространство для загрузки VC-4 и добавления указателя PTR. AU-4 представлен на рисунке 8.6:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		261
									J1	FS	FS	NPI	NPI	NPI	FS	FS	FS	1E1V1	22E1V1	...	63E1Сп0
									B3	FS	FS	NPI	NPI	NPI	FS	FS	FS	1E1КИ1	22E1КИ1	...	63E1КИ4
Указатель PTR AU-4									C2	FS	FS	NPI	NPI	NPI	FS	FS	FS	1E1КИ5	22E1КИ5	...	63E1КИ8
H1	Y	Y	H2	1'	1'	H3	H3	H3	G1	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ9	22E1КИ9	...	63E1КИ12
									F2	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ13	22E1КИ13	...	63E1Сп 1
									F3	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ16	22E1КИ16	...	63E1КИ19
									H4	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ20	22E1КИ20	...	63E1КИ23
									K3	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ24	22E1КИ24	...	63E1КИ27
									N1	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ28	22E1КИ28	...	63E1СТ2

Байты контейнера VC-4

Рисунок 8.6 - Административный блок AU-4

Указатель PTR AU-4 показывает адрес ячейки, в которой находится первый байт POH VC-4. Значение байтов H1, H2 указателя PTR: NNNNSSID IDIDIDID (I и D - нечетные и четные биты.) NNNN - флаг новых данных. NNNN принимает значение 1001 при новом значении PTR, но не при изменениях, связанных с выравниванием. NNNN принимает значение 0110 при нормальной работе. Изменений в PTR нет. SS - тип тракта. Для AU-4 SS принимает значение равное 10. ID IDIDIDID - значение PTR, которое находится в диапазоне: 0-782. I - биты PTR используются при положительном выравнивании, когда длительность цикла VC4 больше длительности цикла AU. D-биты PTR используются при отрицательном выравнивании, когда длительность цикла VC4 меньше длительности цикла AU.

2.8 Формирование административного блока AUG

В европейском варианте формирования синхронного транспортного модуля административный блок AUG имеет туже структуру, что и административный блок AU-4. То есть формирование AUG сводится к повторению административного блока AU-4

2.9 Формирование синхронного транспортного модуля STM-1

Синхронный транспортный модуль STM-1 состоит из секционного заголовка SOH и административного блока AUG. Блок SOH содержит 8 строк по 9 байт и подразделяется на секционный заголовок секции регенератора (RSOH) занимающий 1-3 строки и секционный заголовок мультиплексной секции (MSOH) занимающий 5-9 строки. Матричное представление синхронного транспортного модуля состоит из 9-и строк и 270-и столбцов, содержит 2430 байт, передается за 125 мкс. Скорость передачи STM-1 равна 155,52 Мб/с. Длительность передачи одного бита 6,43 нс. Синхронный транспортный модуль представлен на рисунке 8.7:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		270
RSOH									J1	FS	FS	NPI	NPI	NPI	FS	FS	FS	1E1V1	22E1V1	.....	63E1Сп0
									B3	FS	FS	NPI	NPI	NPI	FS	FS	FS	1E1КИ1	22E1КИ1	.....	63E1КИ4
									C2	FS	FS	NPI	NPI	NPI	FS	FS	FS	1E1КИ5	22E1КИ5	.....	63E1КИ8
H1	Y	Y	H2	1'	1'	H3	H3	H3	G1	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ9	22E1КИ9	.....	63E1КИ12
MSOH									F2	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ13	22E1КИ13	.....	63E1Сп 1
									F3	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ16	22E1КИ16	.....	63E1КИ19
									H4	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ20	22E1КИ20	.....	63E1КИ23
									K3	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ24	22E1КИ24	.....	63E1КИ27
									N1	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	FS	1E1КИ28	22E1КИ28	.....	63E1СТ2

Рисунок 8.7 - Синхронный транспортный модуль.

Заголовок секции регенератора (RSOH) имеет вид: RSOH

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	NU	NU
B1	Z	Z	E1	Z	Z	F1	NU	NU
D1	Z	Z	D2	Z	Z	D3	Z	Z

где: A1, A2 - байты сигнала синхронизации;

D1, D2, D3 - байты канала передачи данных DCC(R);

J0 - байт идентификатора ID модуля STM;

B1 - байт контроля ошибок (BIP-8);

E1 - байт канала служебной связи;

F1 - байт канала пользователя;

NU - байты зарезервированные, которые могут быть использованы в национальных целях;

Z - неиспользуемые байты.

Секционный заголовок мультиплексной секции (MSOH) имеет вид:

B2	B2	B2	K1	Z	Z	K2	Z	Z
D4	Z	Z	D5	Z	Z	D6	Z	Z
D7	Z	Z	D8	Z	Z	D9	Z	Z
D10	Z	Z	D11	Z	Z	D12	Z	Z
S1	Z1	Z1	Z2	Z2	M1	E2	NU	NU

где: B2 - байты контроля ошибок (BIP-24);

K1, K2 - байты каналов автоматического защитного переключения APS;

D4 – D12 - байты канала передачи данных DCC(M);

S1 – байт статуса синхронизации;

E2 - байт канала служебной связи;

M1 - байт сигнала FEBE;

S2 - байт статуса синхронизации;

NU - байты зарезервированные, которые могут быть использованы в национальных целях;

Z - неиспользуемые байты.

Байты сигнала синхронизации имеют значения : A1 = 11110110, A2 = 00101000. Каждый сигнал STM-1 в уплотненном сигнале STM-N включает этот сигнал синхронизации. В STM-4 таких байтов синхронизации содержится (4x6=24). В STM-16 таких байтов синхронизации содержится (16x6=96).

Байты канала передачи данных DCC(R) – Data Communication Channel RS (D1, D2, D3) предназначены для организации каналов передачи данных между регенераторами со скоростью 64x3 Кбит/с. Этот канал организуется только в первом STM-1 в составе STM-N.

Байты канала передачи данных DCC(M) – Data Communication Channel MS (D4-D12) предназначены для организации каналов передачи данных между мультиплексорами со скоростью 64x9 Кбит/с. Этот канал организуется только в первом STM-1 в составе STM-N.

Байт идентификатора ID модуля STM (J0) работает следующим способом: численное значение ID присваивается каждому модулю STM-1 перед последующим уплотнением в STM-N, это число используется для определения и проверки положения отдельного STM-1 в STM-N в процессе разуплотнения. Значение ID записывается в байт C1 заголовка каждого STM-1.

Байт канала служебной связи E1 предназначен для организации телефонного канала между регенераторами. Байт канала служебной связи E2 предназначен для организации телефонного канала между мультиплексорами. Они (E1, E2) организуются только в первом STM-1 в составе STM-N.

Байт канала пользователя (F1) зарезервирован для оператора сети. Он организуется только в первом STM-1 в составе STM-N.

Байт контроля ошибок (BIP-8) (B1) служит для контроля ошибок с использованием кода BIP-8, возникающих в секциях регенерации (регенерационная секция). Он организуются только в первом STM-1 в составе STM-N.

Три байта контроля ошибок (B1P-24) (B2) служат для контроля ошибок с использованием кода B1P-24, возникающих между мультиплексорами (мультиплексная секция). При использовании STM-N могут использоваться в каждом STM-1. Строки RSOH не учитываются при формировании значения B2. Это означает, что изменения B 1, происходящие в регенераторах, не влияют на значение B2.

Байты каналов автоматического защитного переключения APS (К1, К2) используются следующим образом: биты 6,7 и 8 байта К2 устанавливаются в "1" при появлении аварии на мультиплексном участке и являются сигналом индикации аварии MS-AIS. Установкой битов 6,7 и 8 байта К2 в состояние "110" формируется сигнал FERF для оповещения противоположного пункта об отсутствии приема от него сигнала или при приеме от него сигнала AIS. Остальные биты байтов К1, К2 используются для оповещения при резервировании трактов STM по схеме 1:п (п=1-14). Эти байты организуются только в первом STM-1 в составе STM-N.

Байт сигнала FEBE (Ml) предназначен для формирования сигнала FEBE при оповещении противоположного пункта о приеме от него сигнала с ошибками и содержит количество блоков с ошибками, обнаруженными с помощью кода B1P-24(B2). Используемыми значениями этого байта являются 0-24 для STM-1 и 0-96 для STM-4. Другие значения, которые могут быть представлены с помощью 8 битов, не должны формироваться в нормальных условиях. В настоящее время байт Ml задействован только для STM-1 и STM-4.

Байт статуса синхронизации (S1) показывает качество синхросигнала.

3 Задание

- Рассчитать процентное соотношение данных, передаваемых с оконечного оборудования абонента, и служебных данных, внедряемых аппаратурой SDH в структуры контейнеров С-12, С-3, и С-4;
- рассчитать процентное соотношение данных, передаваемых с оконечного оборудования абонента, и служебных данных, внедряемых аппаратурой SDH в структуру синхронного транспортного модуля;
- рассчитать информационные скорости всех структур, организуемых по ходу формирования синхронного транспортного модуля, с учетом вариантов использования в качестве трибутарных сигналов комбинации из разноуровневых плезиохронных потоков;
- рассчитать месторасположение конкретного байта или группы байтов трибутарного потока в промежуточных структурах, организуемых по ходу формирования синхронного транспортного модуля, и самом синхронном транспортном модуле, принимая ситуацию согласования скоростей идеальной;
- рассчитать месторасположение конкретного байта или группы байтов трибутарного потока в промежуточных структурах, организуемых по ходу формирования синхронного транспортного модуля, и самом синхронном транспортном модуле, с учетом возможного рассогласования скоростей или используя заданное рассогласования скоростей.

Используемые формулы:

Найти номер конкретного канального интервала трибутарного потока в контейнере С-12 в первом его отчете можно по формуле:

$$N=m+1 \qquad 8.1)$$

где m – номер байта, занимаемого интересующим канальным интервалом в потоке Е1;

Найти номер конкретного канального интервала трибутарного потока в виртуальном контейнере VC-12 можно по формуле:

$$N=m+2+34(c-1)+2(a-1) \qquad (8.2)$$

где m – номер байта, занимаемого интересующим канальным интервалом в потоке Е1;

a – номер цикла передачи VC-12;

c – номер цикла передачи C-12.

Найти номер конкретного канального интервала трибутарного потока в трибутарном блоке TU-12 можно по формуле:

$$N=m+3+34(c-1)+2(a-1)+p-1+\Delta \quad (8.3)$$

где p - номер цикла передачи TU-12;

Δ – сдвиг контейнера VC-12 внутри структуры TU-12.

Найти номер конкретного канального интервала трибутарного потока в трибутарном групповом блоке TUG-2 можно по формуле:

$$N=(m+3+\Delta)*3-3+k \quad (8.4)$$

где k – номер мультиплексируемого трибутарного блока TU-12.

Найти номер конкретного канального интервала трибутарного потока в трибутарном групповом блоке TUG-3 можно следующим способом:

$z=((m+3+\Delta)*3-3+k)*7+g$

$$N=z+2*\text{ОКРВВЕРХ}(z/84) \quad (8.5)$$

где

k – номер мультиплексируемого трибутарного блока TU-12;

g - номер мультиплексируемого трибутарного группового блока TUG-2;

ОКРВВЕРХ – округление результата деления до ближайшего большего целого числа.

Данный переход возникает вследствие добавления к результату мультиплексирования 2-х столбцов (NPI+FS). Число 84 – длина поля занимаемого мультиплексируемыми трибутарными групповыми блоками TUG-2 на одной строке.

Найти номер конкретного канального интервала трибутарного потока в виртуальном контейнере VC-4 можно следующим способом:

$z_1=((m+3+\Delta)*3-3+k)*7+g;$

$z_2=(z_1+2*\text{ОКРВВЕРХ}(z_1/84))*3+y-3$

$$N=z_2+3*\text{ОКРВВЕРХ}(z_2/258) \quad (8.6)$$

Где m - номер байта, занимаемого интересующим канальным интервалом в потоке E1;

k – номер мультиплексируемого трибутарного блока TU-12;

g - номер мультиплексируемого трибутарного группового блока TUG-2;

y - номер мультиплексируемого трибутарного группового блока TUG-3;

ОКРВВЕРХ – округление результата деления до ближайшего большего целого числа.

Данный переход возникает вследствие добавления к результату мультиплексирования 3-х столбцов (PRT-VC-4+FS). Число 84 – длина поля занимаемого мультиплексируемыми трибутарными групповыми блоками TUG-2 на одной строке TUG-3, число 268 - длина поля занимаемого мультиплексируемыми трибутарными групповыми блоками TUG-3 в одной строке виртуального контейнера VC-4.

Найти номер конкретного канального интервала трибутарного потока в синхронном транспортном модуле STM-1 можно следующим способом:

$z_1=((m+3+\Delta)*3-3+k)*7-7+g;$

$z_2=(z_1+2*\text{ОКРВВЕРХ}(z_1/84))*3+y-3$

$z_3=z_2+3*\text{ОКРВВЕРХ}(z_2/258)+\beta$

$$N=z_3+9*\text{ОКРВВЕРХ}(z_3/258) \quad (8.7)$$

Где m - номер байта, занимаемого интересующим канальным интервалом в потоке E1;

k – номер мультиплексируемого трибутарного блока TU-12;

g - номер мультиплексируемого трибутарного группового блока TUG-2;
y - номер мультиплексируемого трибутарного группового блока TUG-3;
β – сдвиг виртуального контейнера VC-4 внутри структуры административного блока.

Содержание отчета:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Структуру синхронного транспортного модуля, загруженного в соответствии с индивидуальным заданием.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Чему равна размерность STM-1 и за какое время он передаётся?
2. Каким образом формируется виртуальный контейнер?
3. Для чего служат указатели PTR?
4. С какой скоростью передаётся STM-1?
5. Где размещается синхросигнал?
6. Какие контейнеры используются для размещения цифровых потоков?
7. Чему равны размерности трактовых заголовков?

Список рекомендуемых источников

1. Крухмалев В. В., Гордиенко В.Н., А. Д. Моченов. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. М.: Горячая линия - Телеком, 2012.
2. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.

Практическое занятие 9

Выбор параметров оптических секции транспортных сетей связи

Задание:

1. Выбрать параметры оптической секции
2. Построить диаграмму уровней и распределение энергетического потенциала по длине оптической секции.

Краткие теоретические сведения [1]

Выбор аппаратуры ВОСП СЦИ первоначально сводится к определению оптических интерфейсов (стыков) на основе рекомендаций МСЭ-Т G.957 и G.691 (для систем с применением оптических усилителей). После этого выбирается аппаратура и её производитель, а затем — тип оптического кабеля и его производитель. Отметим, что рекомендациям МСЭ-Т G.957 и G.691 соответствуют применяемые на территории Российской Федерации отраслевые стандарты ОСТ 45.104 и ОСТ 45.178.

Линейную структуру магистрали ВОСП СЦИ принято представлять в виде последовательного соединения ряда оптических секций, определенных в указанных рекомендациях. Оптические секции кодируются с использованием кода применения, который по рекомендации G.957 и G.691 имеет следующий вид:

Тип применения — (тире) Уровень STM. Цифровой символ,

где **Тип применения** обозначается латинской буквой:

I — для внутриобъектовой связи (Intra);

S — для короткой межстанционной связи (Short);

L — для длинной межстанционной связи (Long);

V — для очень длинной межстанционной связи (Very long);

U — для сверхдлинной межстанционной связи (Ultra long);

Уровень STM обозначается цифрой N (N = 1, 4, 16, 64);

Цифровой символ определяет номинальную длину волны источника излучения и тип применяемого волокна:

1 — номинальная длина волны 1310 нм и волокно G.652;

2 — номинальная длина волны 1550 нм и волокно G.652 (G.654);

3 — номинальная длина волны 1550 нм и волокно G.653;

5 — номинальная длина волны 1550 нм и волокно G.655.

В коде применения I рекомендации G.957 цифровой символ отсутствует, так как здесь всегда используется номинальная длина волны 1310 нм и волокно G.652. Следует также отметить, что в России самым распространенным оптическим волокном является ОВ рекомендации G.652 (более 90 % из всего проложенного). Кроме того, в кодах применения перечисленных выше отраслевых стандартов тип применения обозначается буквой кириллицы, а именно:

В — для внутриобъектовой связи;

К — для короткой межстанционной связи;

Д — для длинной межстанционной связи;

О — для очень длинной межстанционной связи;

С — для сверхдлинной межстанционной связи.

Коды оптических секций, а также соответствующие им длины волн, типы применяемого волокна и примерные значения протяженностей секций согласно рекомендациям G.957 и G.691 приведены в таблицах 9.1–9.1 соответственно.

Таблица 9.1 - Коды и параметры оптических секций по рекомендации G.957

Параметр	Код применения					
	I-1 I-4 I-16	S-1.1 S-4.1 S-16.1	S-1.2 S-4.2 S-16.2	L-1.1 L-4.1 L-16.1	L-1.2 L-4.2 L-16.2	L-1.3 L-4.3 L-16.3
Номинальная длина волны, нм	1310	1310	1550	1310	1550	
Тип волокна[1]	G.652				G.652 G.654	G.653
Протяженность[2], км	2	15		40	80	

Примечания. [1] Не исключается применение волокна G.655.
[2] Ориентировочное значение; как проектную величину использовать нельзя.

Таблица 9.2 - Коды и параметры оптических секций по рекомендациям G.691

Параметр	Код применения						
	S-64.1	S-64.2	S-64.3	S-64.5	L-64.1	L-64.2	L-64.3
Номинальная длина волны, нм	1310	1550			1310	1550	
Тип волокна	G.652		G.653	G.655	G.652		G.653
Протяженность[1], км	20	40			80		

[1] Ориентировочное значение; как проектную величину использовать нельзя.

Таблица 9.3 - Коды и параметры оптических секций по рекомендациям G.691

Параметр	Код применения				
	V-4.1 – –	V-4.2 V-16.2 V-64.2	V-4.3 V-16.3 V-64.3	U-4.2 U-16.2 –	U-4.3 U-16.3 –
Номинальная длина волны, нм	1310	1550			
Тип волокна	G.652		G.653	G.652	G.653
Протяженность[1], км	60	120		160	

[1] Ориентировочное значение; как проектную величину использовать нельзя.

Волоконно-оптические системы на основе СЦИ обладают универсальными возможностями и обеспечивают так называемую поперечную совместимость, т.е. возможность использования оборудования различных производителей. Это привело к классификации оптических стыков — интерфейсов, как и оптических секций, по коду применения и нормированию их параметров в опорных точках, показаны на рисунке 9.1 и 9.2.

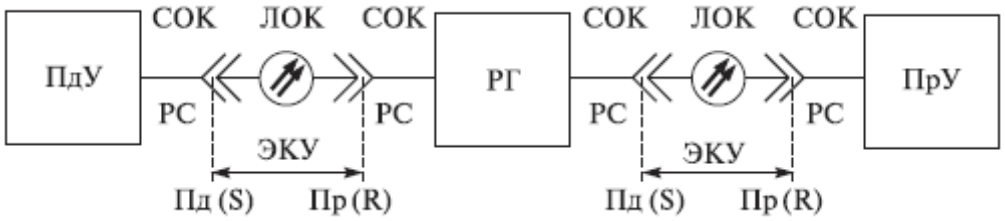
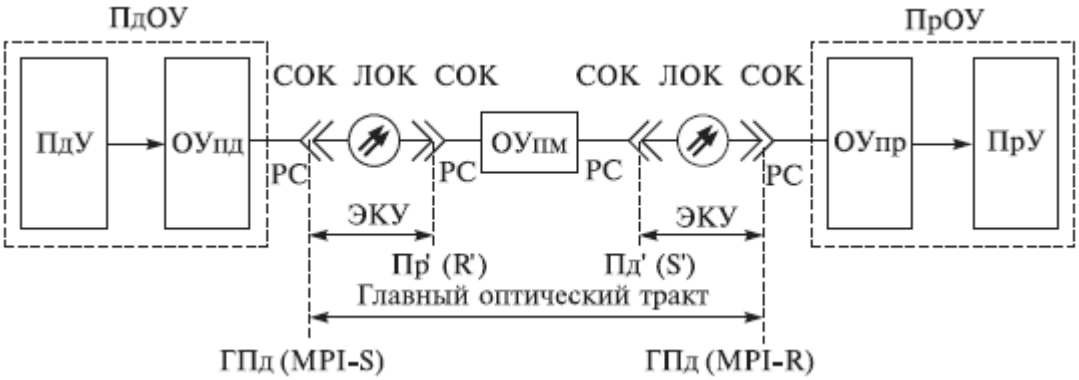


Рисунок 9.1 - Опорные точки нормирования стыков СЦИ без оптических усилителей: Пд (S) и Пр (R)



ПдУ — передающее устройство (передатчик); ПрУ — приемное устройство (приемник);
СОК — станционный оптический кабель; ЛОК — линейный оптический кабель;
РГ — регенератор; ЭКУ — элементарный кабельный участок;
ОУпд — оптический усилитель мощности на передаче; ОУпр — оптический усилитель на приеме;
ОУпм — оптический усилитель промежуточный (линейный); РС — разъемный соединитель;
ПдОУ — передатчик с оптическим усилителем; ПрОУ — приемник с оптическим усилителем.

Рисунок 9.2 - Опорные точки нормирования стыков СЦИ с оптическими усилителями: ГПд (MPI-S), ГПр (MPI-R), Пд′ (S′), Пр′(R′)

Для структур представленных на рисунке 9.3 выбрать параметры оптических секций и построить диаграмму уровней и распределение энергетического потенциала по длине оптической секции.

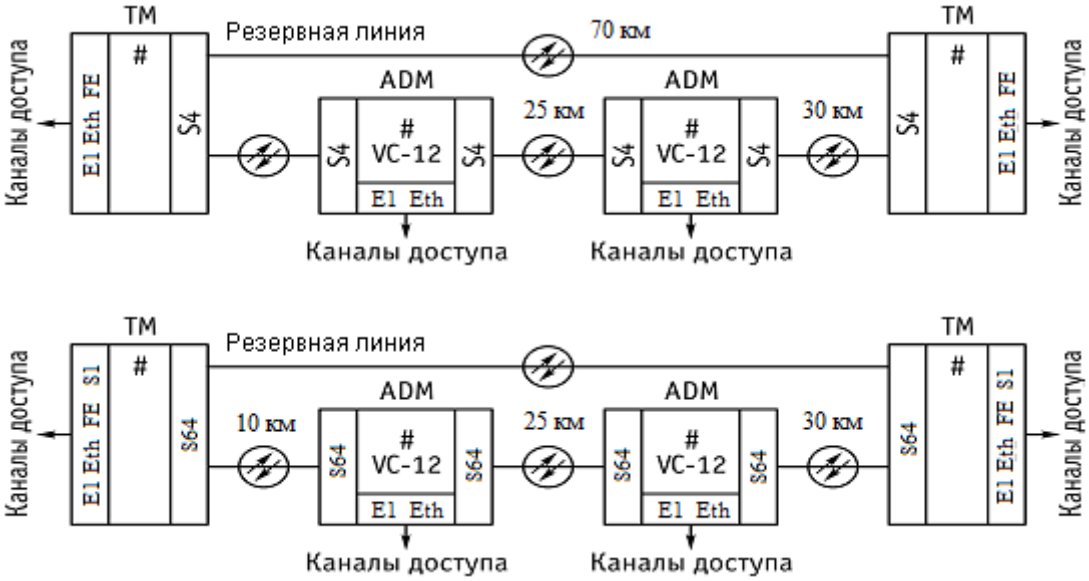


Рисунок 9.3 – Структуры SDH для расчета

Содержание отчета:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Диаграмму уровней и распределение энергетического потенциала по длине регенерационного участка в соответствии с индивидуальным заданием.
4. Выводы.

Контрольные вопросы (ПК-2.3):

1. Параметры оптических секций.
2. Коды применения оптических секций.
3. Параметры оптических интерфейсов для передатчика.
4. Параметры оптических интерфейсов для приемника.
5. Рекомендации МСЭ-Т определяющие тип оптического волокна.
6. Номинальные протяженности в зависимости от кода применения.
7. Параметры оптических кабелей.

Список рекомендуемых источников

1. Гордиенко, В.В. Крухмалёв, А.Д. Моченов, Р.Ф. Шарафутдинов. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов: – М: Горячая линия-Телеком, 20011.
2. Крухмалев В. В., Гордиенко В.Н., А. Д. Моченов. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. М.: Горячая линия - Телеком, 2012.
3. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.

Практическое занятие 10

Расчет длины регенерационного участка ЦСП по ВОЛС

Задание:

1. Рассчитать длину регенерационного участка (или элементарного кабельного участка – ЭКУ).
2. Построить диаграмму уровней и распределение энергетического потенциала по длине регенерационного участка.

Краткие теоретические сведения

После выбора типа аппаратуры, оптического интерфейса и соответствующих ему оптического волокна и кабеля, выполняется расчет основных показателей линейного тракта проектируемой ВОЛП [1]. Одним из таких показателей является длина регенерационного участка или регенерационной секции.

Исходные данные для определения длины регенерационного участка:

– параметры передачи оптического кабеля: коэффициент затухания, удельная дисперсия (в случае одномодового ОК) и коэффициент широкополосности (в случае многомодового ОК);

– параметры аппаратуры и элементов линейного тракта: чувствительность или минимальный уровень приема; порог перегрузки приемного устройства или максимальный уровень приема; информационная скорость сигнала и тип линейного кода; тип источника оптического излучения и его основные параметры; дополнительные потери или энергетический запас оптического тракта и др.

Как правило, при использовании стандартного оборудования линейных трактов совместно с рекомендуемыми для них оптическими кабелями максимально допустимая длина регенерационного участка, определенная по энергетическим характеристикам системы (энергетический потенциал, уровни передачи и приема, затухание регенерационного участка), меньше максимальной длины, определяемой дисперсионными характеристиками или широкополосностью ОК. Поэтому сначала рекомендуется эту длину определять по энергетическим параметрам. Такую длину часто называют длиной участка регенерации, ограниченной затуханием. После этого находят максимальную длину по дисперсионным характеристикам, которую называют длиной участка регенерации, ограниченной дисперсией. В качестве максимальной проектной длины выбирается наименьшая из этих двух.

Затухание на регенерационном участке $A_{ру}$ зависит от схемы организации линейного тракта и включенных на кабельном участке (помимо самого кабеля) разъемных и неразъемных соединителей, а также других пассивных устройств, например оптических развязывающих устройств. В общем виде

$$A_{ру} = nA_р + mA_н + \alpha L + A_п, \text{ дБ}, \qquad (10.1)$$

где

A_p — затухание разъемного оптического соединителя, дБ;

n — их число; $A_н$ — затухание неразъемного оптического соединителя, дБ;

m — их число;

α— коэффициент затухания оптического кабеля, дБ/км;

L — длина участка регенерации;

$A_п$ — суммарное затухание всех дополнительных пассивных устройств, включенных на кабельном участке, дБ.

Энергетический потенциал *W*, приводимый в паспортных данных ВОСП ПЦИ, определяется как разность уровней на передаче и на приеме, причем под уровнем приема понимается уровень чувствительности, т.е. такой минимальный уровень принимаемого сигнала, при котором обеспечивается заданный коэффициент ошибок. В паспортных данных ВОСП СЦИ энергетический потенциал обычно не приводится, но его легко определить через разность уровней минимальной излучаемой мощности и максимальной чувствительности. Энергетический потенциал определяет максимально допустимое затухание оптического сигнала на регенерационном участке. Следовательно, зная величину *W*, можно найти максимальную длину участка регенерации $L_{макс\ \alpha}$ ограниченную затуханием. В то же время затухание на регенерационном участке с течением времени может возрасти, а энергетический потенциал снизиться. Причинами этого являются рост затухания кабеля и других пассивных элементов из-за старения и деградации, падение уровня оптической мощности на выходе передатчика и рост уровня чувствительности приемника (температурные влияния, старение и деградация и др.). Поэтому при определении длины участка регенерации, ограниченной затуханием, вводится некоторый запас, состоящий из двух величин:

A_1 — запас на ухудшение параметров пассивных элементов кабельного участка;

A_2 — запас на ухудшение параметров оптоэлектронных компонентов ВОСП.

С учетом сказанного можно записать

$$W\text{-}A_2 = nA_p + mA_н + \alpha L_{макс\ \alpha} + A_п + A_1. \qquad (2)$$

Число неразъемных соединителей т = Lмакс α / $l_{стр}$ — 1, где $l_{стр}$ — строительная длина кабеля. Подставляя это значение m в (2) после преобразований получим

$$L_{макс\,\alpha} = \frac{W - A_н - nA_р - A_п - \Delta W_э}{\alpha + A_н/l_{стр}}, \text{ км}, \qquad (10.2)$$

где величина ΔW3 = A1 + A2 называется энергетическим запасом, приводится в технических данных аппаратуры и составляет для ВОСП ПЦИ 3... 6 дБ и 1... 2 дБ для ВОСП СЦИ.

Обычно Ан ≤ 0,1 дБ, поэтому затуханием одного неразъемного оптического соединителя Ан, входящим в числитель данной формулы, можно пренебречь. Тогда можно записать

$$L_{макс\,\alpha} = \frac{W - nA_р - A_п - \Delta W_э}{\alpha + A_н/l_{стр}}, \text{ км}. \qquad (10.3)$$

Приемные устройства оснащаются устройствами автоматической регулировки усиления (АРУ) с пределами регулирования Аару, определяющими минимальную длину регенерационного участка, ограниченную затуханием

$$L_{мин\,\alpha} = \frac{W - nA_р - A_п - \Delta W_э - A_{АРУ}}{\alpha + A_н/l_{стр}}, \text{ км}. \qquad (10,4)$$

Максимальная длина участка регенерации ВОСП ПЦИ, ограниченная дисперсией $L_{макс\ б}$, рассчитывается только для многомодового кабеля, так как в случае одномодового

кабеля она всегда больше длины участка регенерации, ограниченной затуханием. $L_{макс\ б}$ находится по формуле

$$L_{макс\,\sigma} = \left(\frac{\Delta F_1}{B_л}\right)^{1/\gamma},\ км, \tag{10.5}$$

где ΔF_1 — коэффициент широкополосности ОК, МГц·км;
$B_л$ — скорость передачи в линии (зависит от линейного кода), Мбит/с;
γ — параметр, определяемый типом используемого в кабеле ОВ.

Параметр γ является паспортной величиной, приводимой в ТУ на многомодовый кабель. Если он неизвестен, то при расчетах можно принять $\gamma \approx 0{,}7$.

Следует отметить, что формулами (10.4) и (10.5) можно пользоваться при расчете длины участка регенерации как ВОСП ПЦИ, так и ВОСП СЦИ. При этом, согласно рекомендации G.957 разъемные соединители оборудования СЦИ (ПдУ и ПрУ) не входят в состав кабельного участка. Кроме того, значения всех величин, входящих в расчетные формулы, должны выбираться из технических характеристик конкретной аппаратуры и оптического кабеля, применяемых на проектируемой ВОЛП. При проектировании ВОСП СЦИ должна обязательно рассчитываться длина $L_{макс\ б}$. Она может быть определена по формуле $L_{макс\ б} = (E \cdot 10^6) / (B \cdot D_{хр} \cdot 6\lambda)$ с учетом параметров оптических интерфейсов применяемой аппаратуры. Кроме того, она может быть рассчитана по перекрываемой величине хроматической и/или поляризационной модовой дисперсии. Если задана хроматическая дисперсия, то

$$L_{макс\,\sigma хр} = \sigma_{п\,хр}/D_{хр},\ км, \tag{10.6}$$

где σ хр — перекрываемая хроматическая дисперсия, пс/нм; $D_{хр}$ — удельная хроматическая дисперсия, пс/нм-км.

В случае поляризационной модовой дисперсии

$$L_{макс\,\sigma пмд} = (\sigma_{п\,пмд}/D_{пмд})^2,\ км, \tag{10.7}$$

где $\sigma_{п\,пмд}$ — перекрываемая поляризационная модовая дисперсия, пс;
$D_{пмд}$ — удельная поляризационная модовая дисперсия, пс/км$^{1/2}$.

После определения длины регенерационного участка по методике, изложенной выше, осуществляется размещение НРП и ОРП в соответствии с топологией сети и проектируемой ВОЛП. Если в соответствии с местными условиями, особенностями выбранной трассы длина регенерационного участка должна быть меньше минимальной, то на входе регенератора в точке *R* включают оптический аттенюатор.

Предложенную методику определения длины регенерационного участка рассмотрим на следующем примере.

Пример. Требуется определить длину регенерационного участка (секции) для ВОСП СЦИ с двухволоконным линейным трактом на основе синхронного транспортного модуля типа SMA-4 фирмы Siemens, работающей по кабелю типа ОКЛ-01 на длине волны λ = 1550 нм. Необходимые для расчетов основные параметры SMA-4 и кабеля ОКЛ-01 приведены в таблице 1. В этой таблице помимо уже известных обозначений введены два новых: $p_{пер\ мин}$ — минимальный уровень на передаче и $p_{пр\ мин}$ — минимальный уровень на приеме (уровень

чувствительности). При выполнении расчетов будем полагать, что затухание одного неразъемного оптического соединителя $A_н$ = 0,1 дБ, а энергетический запас $\Delta W_з$ = 2 дБ.

Таблица 10.1 - Параметры SMA-4 и кабеля ОКЛ-01

Аппаратура SMA-4, Siemens				Кабель ОКЛ-01		
$P_{пер\ мин}$, дБм	$P_{пр\ мин}$, дБм	$A_{АРУ}$, дБ	$б_{п\ хр}$, пс/нм	α дБ/км	$D_{хр}$, пс/нм-км	$l_{стр}$, км
-15	-35	32	2500	0,22	18	2

Решение. Воспользовавшись данными таблицы 10.1, определим энергетический потенциал

$$W = p_{пер\ мин} - p_{пр\ мин} = -15 - (-35) = 20\ дБ.$$

Подставив в формулу (10.4) значения энергетического потенциала W = 20 дБ, потерь в неразъемных соединениях $A_н$ = 0,1 дБ, энергетического запаса $\Delta W_з$ = 2 дБ, коэффициента затухания кабеля α = 0,22 дБ/км и строительной длины $l_{стр}$ = 2 км, а также учитывая, что применяется двухволоконный линейный тракт, т.е. на кабельном участке отсутствуют дополнительные пассивные компоненты ($A_п$ = 0), получим

$$L_{макс\ \alpha} = (W - \Delta W_з) / (\alpha + A_н / l_{стр}) = (20 - 2)/(0{,}22 + 0{,}1/2) \approx 66\ км$$

Так как $A_{АРУ} > W$, то очевидно $L_{ру\ мин\ \alpha} = 0$.

Длину регенерационной секции, ограниченную дисперсией оптического волокна, определим по формуле (10.6). Если в нее подставить значения $б_{п\ хр}$ = 2500 пс/нм и $D_{хр}$ = 18 пс/нм·км, то получим

$$L_{макс\ б\ хр} = б_{п\ хр} / D_{хр} = 2500 / 18 \approx 138{,}8\ км.$$

В качестве максимальной проектной длины выбирается наименьшая из двух рассчитанных, т.е. $L_{макс}$ = 66 км. Для размещения регенерационных пунктов выбирается несколько меньшее значение длины регенерационного участка, которую с учетом запасов кабеля, можно взять равной 60 км.

Содержание отчета:

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Диаграмму уровней и распределение энергетического потенциала по длине регенерационного участка в соответствии с индивидуальным заданием.
4. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Чем определяется длина регенерационного участка?
2. Как рассчитывается мощность дробовых шумов оптического линейного тракта?
3. Как рассчитывается вероятность ошибки?
4. Как рассчитывается быстродействие волоконно-оптической системы передачи?
5. Перечислите и поясните долговременные и оперативные показатели ошибок цифровых каналов и трактов.

6. Перечислите и поясните показатели надежности каналов и трактов.
7. Поясните параметр оптического кабеля: коэффициент затухания α, дБ/км.
8. Поясните параметр оптического кабеля: среднеквадратическое значение дисперсии оптического волокна $\sigma_в$, пс/нм·км.
9. Поясните, что такое дисперсия оптического волокна?

Список рекомендуемых источников

1. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов / В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалёв, А.Д. Моченов, Р.Ф. Шарафутдинов. Под ред. профессора В.Н. Гордиенко. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011.
2. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.

Практическое занятие 11

Технология спектрального разделения.

Задание:

1. Изучить технологию спектрального разделения, спектральное расположение каналов.
2. Ознакомиться с параметрами линейного тракта и параметрами интерфейсов мультиплексируемых потоков.

Краткие теоретические сведения

Увеличение пропускной способности волоконно-оптических линий может осуществляться двумя путями:

1) экстенсивным, включающим в себя использование так называемых «темных волокон», т.е. неиспользуемых ОВ оптического кабеля, путем подключения к ним соответствующего оборудования систем передачи, или прокладку нового оптического кабеля; возможности этого пути весьма ограничены и, как любой экстенсивный путь, он экономически бесперспективен;

2) интенсивным, при котором повышение пропускной способности ОВ достигается увеличением числа оптических каналов, организуемых на различных длинах волн в соответствующих окнах прозрачности ОВ.

Принцип спектрального разделения для N-канальной системы передачи представлен на рисунке 11.1.

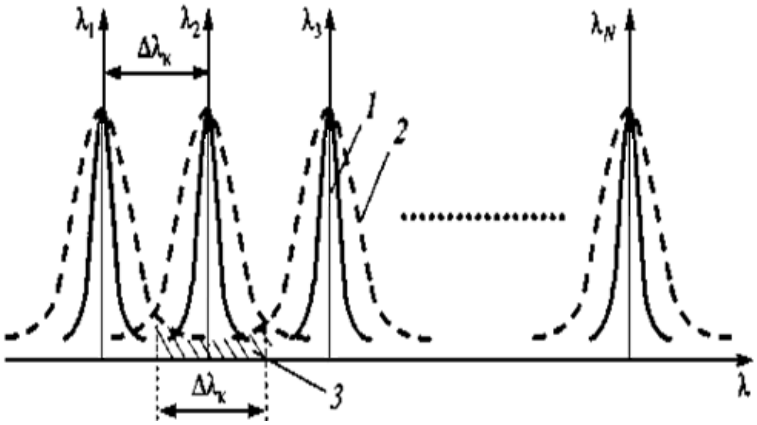


Рисунок 11.1 - Принцип спектрального разделения для N-канальной системы передачи

Каждому каналу отводится спектральный участок с шириной спектра $\Delta\lambda_к$, в котором информация переносится с помощью модулированной оптической несущей. Величина $\Delta\lambda_к$ равна спектральному расстоянию между несущими двух соседних каналов. Ясно, что ширина спектра излучения несущих не должна превышать $\Delta\lambda_к$ (на рисунке спектры таких несущих показаны в виде сплошных линий — 1), так как в противном случае (спектры в виде пунктирных линий — 2) между каналами будут возникать мощные переходные помехи (заштрихованная область — 3).

Оптические несущие в каждом канале генерируются независимыми источниками оптического излучения и поэтому могут модулироваться цифровыми сигналами различных технологий (АТМ, СЦИ, IP и др.), не требуя взаимной синхронизации.

Образуемые при этом оптические каналы могут считаться «прозрачными» и использоваться для переноса любой информации.

Оптическим каналом (optical channel) понимается комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу оптического сигнала в диапазоне длин волн, характерном для данного канала.

Первые реализации технологии WDM представляли собой системы на два оптических канала с длинами волн 850 и 1310 нм и/или 1310 и 1550 нм. По мере освоения третьего окна прозрачности (1550 нм) появились сначала четырехканальные системы передачи с расстоянием между каналами $\Delta\lambda к$ = 8... 10 нм и затем высокоскоростные системы на 8-16 каналов, с передачей по каждому из них сигналов СЦИ со скоростью до 2,5 Гбит/с и спектральным интервалом между ними $\Delta\lambda к$ = 1,6 нм и менее.

Диапазоны систем передачи с технологией WDM представлены в таблице 11.1.

Таблица 11.1 - Диапазоны систем передачи с технологией WDM

Диапазон	Наименование	Спектр, нм
О-диапазон	Основной (О — Original)	1260 ... 1360
Е-диапазон	Расширенный (В — Extended)	1360 ...1460
S-диапазон	Коротковолновый (S — Short wavelength)	1460 ... 1530
С-диапазон	Стандартный (С — Conventional)	1530 ... 1565
L-диапазон	Длинноволновый (L — Long wavelength)	1565 ... 1625
U-диапазон	Сверхдлинноволновый (U — Ultra-long wavelength)	1625 ...1675

Суммарно ширина спектра, охватывающего все шесть диапазонов этой таблицы, составляет 415 нм. В пересчете на частоту это дает полосу порядка 60 ТГц, и, следовательно, потенциальная пропускная способность ВОСП-СР может составить 60 Тбит/с.

На сегодняшний день технология WDM позволяет организовать в одном ОВ свыше 100 оптических каналов при разносе оптических несущих каналов друг от друга всего на доли нанометра. Такая технология называется плотным волновым, мультиплексированием (Dense WDM — DWDM). Она позволяет достичь суммарной скорости передачи по одному ОВ свыше 1 Тбит/с, что практически невозможно достичь в одноволновых системах.

Технология WDM имеет ряд проблем, связанных с нелинейными эффектами, среди которых можно выделить:

- четырехволновое смешение;
- вынужденное комбинационное (рамановское) рассеяние;
- фазовую кросс-модуляцию.

1. Четырехволновое смешение (ЧВС, Four-Wave Mixing — FWM) приводит к появлению новых спектральных составляющих. При достижении критического уровня мощности многоканального сигнала (сумма мощностей сигналов оптических каналов) нелинейность ОВ приводит к взаимодействию трех волн с частотами ω_i, ω_j, ω_k. В результате чего появляется четвертая волна на частотах $\omega_i \pm \omega \pm \omega_k$ е или $2\omega_i \pm \omega_j$, т.е. комбинационные продукты нелинейности3-го порядка. Некоторые из этих продуктов могут попасть в рабочие

полосы оптических каналов и привести к помехам нелинейного происхождения, как в классических СП с ЧРК. Число таких продуктов нелинейности

$$N = \frac{N^2(N-1)}{2},$$

где N — число оптических каналов. Например, в 16-канальной системе WDM возникает 1920 комбинационных продуктов.

2. Вынужденное комбинационное (рамановское) рассеяние (ВКР, Stimulated Raman Scattering — SRS) проявляется в перекачке энергии от сигнала с меньшей длиной волны к сигналу с большей длиной волны. Причиной ВКР является взаимодействие оптического излучения с колеблющимися молекулами кварца (фононами) ОВ, приводящее к его рассеянию, при котором энергия перекачивается от одной волны к другой. Эффективность процесса увеличивается с ростом мощно-сти излучения, зависит от разности частот и достигает максимального значения при разности 13,2 ТГц. ВКР приводит к перекрестным помехам между каналами и, что особенно важно, к неравномерному распределению мощности по спектральному диапазону DWDM-системы: на одном конце интервала (в области длинных волн) сигналы усиливаются больше, чем нужно, а на другом (в области коротких волн) — «истощаются».

3. Фазовая кросс-модуляция (ФКМ, Cross-Phase Modulation — CPM) проявляется в том, что сигнал одного канала модулирует по фазе сигналы в соседних каналах. Физика процесса ФКМ заключается в следующем: при распространении оптических сигналов различных каналов по одному ОВ, показатель преломления которого зависит от интенсивности сигнала (эффект Кэрра), возникают зависимые от времени фазовые сдвиги в соседних каналах. Эти фазовые сдвиги равносильны частотным сдвигам, приводящим к уширению или другим искажениям импульсов.

При очень высокой интенсивности лазерного излучения сигнал может модулировать свою собственную фазу, т.е. будет иметь место фазовая автомодуляция (Self Phase Modulation — SPM). Такая модуляция расширяет спектр сигнала и уширяет или сжимает сигнал во времени в зависимости от знака хроматической дисперсии (положительного или отрицательного). В хвосте волнового диапазона системы DWDM возникает сдвиг к более коротким длинам волн, а на переднем — в область длинных волн, что может приводить к интерференции сигналов соседних каналов.

К настоящему времени МСЭ-Т разработан целый ряд рекомендаций, касающихся технологии WDM и ее применения на транспортных сетях (G.692, G.694, G.695 и др.), позволяющих стандартизировать аппаратуру ВОСП-СР, выпускаемую различными производителями, и обеспечить её совместимость. В соответствии с существующими на настоящий момент рекомендациями МСЭ-Т по разнесению оптических каналов можно определить два класса WDM систем:

1) грубого спектрального мультиплексирования на основе технологии CWDM (Coarse Wavelength-Division Multiplexing, G.694.2);

2) плотного спектрального мультиплексирования на основе технологии DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing, G.694.1

В системах CWDM используются все диапазоны кроме U. В совокупности они охватывают область от 1260 до 1625 нм, в которой располагается 18 каналов с шагом 20 нм. Номинальные значения центральных длин волн каналов (несущих) приведены в таблице 11.2.

Таблица 11.2 - Номинальные значения центральных длин волн каналов

Длина волны, нм								
1270	1290	1310	1330	1350	1370	1390	1410	1430
1450	1470	1490	1510	1530	1550	1570	1590	1610

Грубое спектральное мультиплексирование — CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) — является технологией передачи данных, позволяющей одновременную передачу различных протоколов по одной паре оптических волокон. CWDM базируется на использовании оптических каналов, отстоящих друг от друга на расстоянии 20 нм. При расширении диапазона вниз до 1270 нм число возможных каналов передачи увеличивается до 18. Однако в этом случае возникают две проблемы. Во-первых, на более коротких длинах волн потери на излучение почти вдвое больше, а потому максимально допустимое расстояние передачи заметно сокращается; во-вторых, приходится использовать специальные волокна. Поэтому на практике число возможных каналов передачи не превосходит 16.

Плотное спектральное уплотнение DWDM (dense wavelength-division multiplexing) — это современная технология передачи большого числа оптических каналов по одному волокну, которая лежит в основе нового поколения сетевых технологий. В настоящее время телекоммуникационная индустрия претерпевает беспрецедентные изменения, связанные с переходом от голосо-ориентированных систем к системам передачи данных, что является следствием бурного развития Internet-технологий и разнообразных сетевых приложений. С крупномасштабным развертыванием сетей передачи данных происходит модификация самой архитектуры сетей. Именно поэтому требуются фундаментальные изменения в принципах проектирования, контроля и управления сетями. В основе нового поколения сетевых технологий лежат многоволновые оптические сети, базирующиеся на плотном волновом мультиплексировании DWDM (dense wavelength-division multiplexing).

Самым важным параметром в технологии плотного волнового мультиплексирования является расстояние между соседними каналами. Стандартизация пространственного расположения каналов нужна потому, что на ее основе можно будет начинать проведение тестов на взаимную совместимость оборудования разных производителей. Рекомендацией ITU-T G.692 определены: частотный план с разнесением частот между соседними каналами 100 ГГц (0,8 нм), в соответствии с котором для передачи данных применяется 41 волна в диапазоне от 1528,77 нм (196, 1 ТГц) до 1560,61 нм (192,1 ТГц), и частотный план с шагом в 50 ГГц (0,4 нм), позволяющий передавать в этом же диапазоне 81 длину волны. Некоторыми компаниями выпускается также оборудование, способное работать с частотной сеткой с шагом 25 ГГц (называемое High-Dense WDM, HDWDM).

Реализация частотных планов с шагом 50 ГГц и 25 ГГц предъявляет гораздо более жесткие требования к оборудованию DWDM, особенно в том случае, если каждая волна переносит сигналы со скоростью модуляции 10 Гбит/с и выше (STM-64, STM-256 или 10GE). Это связано с тем, что ширина спектра передаваемого сигнала (при потенциальном кодировании NRZ, применяемом в системах SDH и 10GE) пропорциональна частоте модуляции, поэтому спектр сигнала STM-64 примерно в четыре раза шире спектра сигнала STM-16. Теоретически зазоры между соседними волнами в 50 ГГц и даже 25 ГГц позволяют передавать данные со скоростями 10 Гбит/с, но при этом нужно обеспечить высокую точность частоты и минимально возможную ширину спектра несущей волны, а также снизить уровень шумов, чтобы минимизировать эффект перекрытия спектра, показанный на рисунке 11.2.

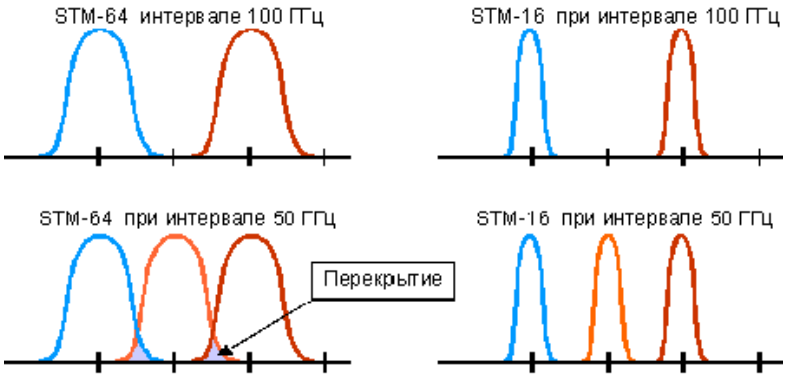


Рисунок 11.2 – Перекрытие спектра соседних длин волн
для разных частотных планов и скоростей передачи данных

Реализация той или иной сетки частотного плана во многом зависит от трех основных факторов:

- тип используемых оптических усилителей (кремниевый или фтор-цирконатный);
- скорость передачи на канал — 2,4 Гбит/с (STM-16) или 10 Гбит/с (STM-64);
- влияние нелинейных эффектов.

В большинстве случаев, WDM наиболее экономичное решение при нехватке волокна в кабеле, дающее выигрыш волокна 2 к 1 или 3 к 1 за счет объединения длин волн 1310 нм, 1550 нм и 1490 нм в одном волокне. В случае, когда требуется больше каналов для расширения емкости существующей волоконно-оптической инфраструктуры, CWDM обеспечивает эффективное решение для оптических пролетов небольшой длины (до 80 км). За невысокую стоимость CWDM может обеспечить увеличение емкости существующего волокна 18 к 1. С текущими характеристиками потерь оптического сигнала в окнах прозрачности 1310 нм и 1490 нм приложения WDM и CWDM наилучшим образом подходят для коротких расстояний. Там где требуется высокая емкость или передача на большие расстояния, решения DWDM — предпочтительный метод для увеличения емкости волокна. С ее высоко-точными лазерами, оптимизированными для работы в окне 1550 нм (для уменьшения потерь), системы DWDM являются идеальным решением для более требовательных сетей. Системы DWDM могут использовать EDFA для усиления всех длин волн в DWDM окне и увеличение длины передачи до 500 км.

Определить скорости передачи цифрового потока при использовании CWDM и DWDM. Исходные данные: $n_{\lambda\ CWDM}$ -16; $n_{\lambda\ DWDM}$ -88; STM-16 $_{CWDM}$; STM-64 $_{DWDM}$.

Определить число каналов в окнах прозрачности при $\Delta\lambda к$ = 8 нм. Скорости передачи цифрового потока 2,5 и 10 Гбит/с.

1. Тему, постановку задачи.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Структуры STM-16 и STM-64.
4. Расчеты.
5. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите диапазоны систем передачи с технологией WDM.
2. Какие параметры стыков линейного тракта учитываются на передаче?
3. Какие параметры стыков линейного тракта учитываются на передаче?
4. Какие расстояния между оптическими каналами имеют место в оптических мультиплексорах?
5. Какие основы используются в примесном волокне?
6. Приведите основные элементы лазера с перестраиваемой длиной волны излучения.

Список рекомендуемых источников

1. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов / В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалёв, А.Д. Моченов, Р.Ф. Шарафутдинов. Под ред. профессора В.Н. Гордиенко. - М.: Горячая линия - Телеком, 2011.

2. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2013.