

Многоканальные системы передачи

Литература

Н.Н. Баева, В.Н. Гордиенко и др. “Многоканальные системы передачи”. (Учебник для Вузов). М.: Радио и связь , 1997г.

Примечание:

1. 621.39(075) Б-15 (НТЛ)

Н.Н. Баева. “Многоканальная электросвязь и РРЛ”. М.: Радио и связь , 1988г. (312 стр.).

Учебник для Вузов , электротехнических институтов связи специальности 0702.

2. 621.39 Г-51 (НТЛ)

М.В. Гитлиц , А.Ю. Лев. “Теоретические основы многоканальной связи”. М.: Радио и связь, 1985 г. (246 стр.)

Учебное пособие для студентов электротехнических институтов связи специальности 0708.

3. В.В. Крухмалёв, В.Н. Гордиенко и др. “Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи”. М.: Радио и связь, 1996г. (342 стр.)

Учебное пособие для студентов Вузов связи специальности 2010 по направлению “Телекоммуникации”.

4. В.Э. Гуревич, Ю.Г. Лопушнян, Г.В. Рабинович.

“Импульсно – кодовая модуляция в многоканальной телефонии”. М.: Связь, 1973г. (336 стр.)

5. Н.Н. Слепов. “Синхронные цифровые сети SDH”. М.: Эко-тренинг, 1997г.

6. В.Г. Дурнев, В.Д. Сандрик. “Основы построения систем передачи ЕАСС”. М.: Радио и связь, 1985г.

7. “Аппаратура ИКМ-30”. А.Н. Голубев, Ю.П. Иванов и др.; под редакцией Ю.П. Иванова и Л.И.Левина. М.: Радио и связь, 1983г.

8. 006 С-19 (НТЛ)

Сапаров В.Е., Максимов Н.А. “Системы стандартов в электросвязи и радиоэлектронике”. М.: Радио и связь, 1985г.

621.39 А-65

Андреев В.А. “Временные характеристики кабельных линий связи”. М.: Радио и связь, 1986г.

621.39 Б-80

Бронштейн Б.Д. “Качественные показатели трактов и каналов высокочастотных систем передачи”. М.: Связь, 1972г.

621.39

Буга Н.Н. “Основы теории связи и передачи данных”. Ч.І. __ ,
ЛВИКА им. _____ , 1968г.

621.39 В-67

Волин М.Л. “Паразитные связи и наводки”. Изд.2. М.: Сов.
радио, 1965

621.39 Г-86

Гроднев И.И., Фролов П.А. “Коаксиальные кабели связи” 2-е изд.
М.: Радио и связь, 1983г.

621.39 И-68

Иносэ, Хироси. “Интегрированные цифровые сети связи.
Введение в теорию и практику” М.: Радио и связь, 1982г.

621.39 М-29

Мартынов Е. М. “Синхронизация в системах передачи
дискретных сообщений” М.: Связь, 1972г.

621.39 Н-50

Немировский М. С. “Цифровая передача информации в
радиосвязи” М.: Связь, 1980г.

621.39 С-25

Связь/Гос. Комитет СССР по науке и технике ВИНТИ. Итоги
науки и техники. М.: ВИНТИ, 1989-1991г.

621.39 С-40

Система передачи К-1020с. [Л.Т. Ким и др.] под редакцией Л.Т.
Кима, Э.З. Рапопорта. М.: Радио и связь, 1989г. (ещё есть системы К-
120, К- 300, К-3600)

621.39(083) А-76

Аппаратура систем передачи по линиям связи. (Справочник) М.:
Связь, 1970г. (ещё Сер. 3. 1980÷1985г.)

621.39(083) И-62

Инженерно-технический справочник по электросвязи.
Радиорелейные линии. М.: Связь, 1971г.

621.39(075) А-50 (НТЛ)

Алишев Я. В. “Многоканальные системы передачи оптического
диапазона”. Минск, Высш. шк., 1986г.

621.39(045) Б-48 (НТЛ, студ.)

Берганов И. Р. и др. “Проектирование и техническая
эксплуатация систем передачи”. (Уч. пособие) М.: Радио и связь,
1989г.

621.39(085) А-76 (НТЛ)

“Аппаратура проводных систем передачи с частотным и
временным разделением каналов”. Каталог. М.: 1983г.

621.391 М-15

Макаров С. Б., Цикин И. А. “Передача дискретных сообщений по радиоканалам с ограниченной полосой пропускания”. М.: Радио и связь, 1988г.

621.391 Б-89 (Абон.)

Брусиловский К. А. “Измерения искажений импульсов в системах передачи дискретной информации”. М-Л.: Наука, 1965г.

621.391 Г-16

Галкин А. П. и др. “Моделирование каналов систем связи”. М.: Связь, 1979г.

621.391 Б-95

Былянки П. и Ингрэм Д. “Цифровые системы передачи”.

Перевод с англ. М.: Связь, 1980г.

621.391 В-27

“Передача аналоговых сообщений по цифровым каналам связи”. М.: Радио и связь, 1983г.

621.391 Л-55

Лившиц А. Р., Биленко А. П. “Многоканальные асинхронные системы передачи информации”. М.: Связь, 1974г.

621.39 А-13

Абдуллаев Д. А., Арипов М. Н. “Передача дискретных сообщений в задачах и упражнениях”. М.: Радио и связь, 1985г.

621.39(085) К-29

Каталог “Изделия промышленности средств связи”. М.: 1993г. Сер.3.

Лабораторные работы:

1. Разделение сигналов в каналах двустороннего действия
2. Группообразование в системах с частотным разделением каналов
3. Изучение цифровой радиорелейной станции “QUADRALINK”
4. Изучение синхронных мультиплексоров STM-1 и STM-4.

Введение.

Исторически электросвязь зарождалась как средство общения между собой вначале лишь нескольких близкоживущих абонентов. На расстоянии десятки-сотни километров связь осуществлялась по воздушным проводам в виде телеграфной, а постепенно и телефонной связи.

Потребности человека в связи росли и растут сейчас весьма стремительными темпами. Потребовалась связь между населёнными пунктами, между городами, регионами и наконец между странами и континентами. Появились новые виды связи: телевидение, факсимильная передача, радиовещание, цифровая связь и многое другое. На пути технического осуществления потребностей в связи возникает множество проблем.

Каждого абонента с любым другим постоянно проводниками не свяжешь. Поэтому важно собирать множество проводников в пучки – кабели, которые прокладывают под землёй, по воздуху, под водой и т.п. от одного места до другого. Это весьма дорогостоящая работа. Ясно, что экономически выгодно, если по одному и тому же кабелю суметь обеспечить одновременный разговор сразу нескольких абонентов.

Это и приводит к технической проблеме “уплотнения” линий передачи сигналов с целью увеличения количества одновременно участвующих в связи абонентов по одной и той же линии передачи.

В курсе “Многоканальные системы передачи” рассматриваются возможности объединения электрических сигналов от различных абонентов (пользователей)(Subscriber), техническая реализация принципов многоканальной передачи, современное состояние и перспективы развития.

Лекция № I

Основные понятия и определения.

Линии передачи (линии связи) – это воздушные провода, скрученные пары проводников, собранные в многожильный кабель, коаксиальные кабели, оптоволоконные линии, волноводы, воздушная и космическая среда, т.е. это среда передачи сигнала.

Чтобы соединить между собой для передачи сообщений два или более абонента или их абонентские устройства, помимо линии передачи нужны ещё многие дополнительные устройства. Это различные преобразователи сигналов, коммутирующие устройства, промежуточные усилители и т.п. Такая совокупность технических средств и среды распространения образуют КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ (КАНАЛ СВЯЗИ) сигнала от источника к получателю.

Канал передачи – это совокупность технических средств и среды обеспечивающих передачу сигнала ограниченной мощности в определенной области частот между двумя абонентами независимо от используемых физических линий передачи.

Канал передачи может быть организован для различных источников сообщений, с помощью различной аппаратуры, в том числе и изготовленной в различных странах, и через различные направляющие среды. Понятие канал передачи является одним из важнейших. Поэтому оно имеет однозначное толкование в любой стране. Каналу передачи придаются вполне определённые, стандартизованные свойства. Эти свойства определяются рекомендациями МККТТ. Все каналы чётко стандартизованы, подробно описаны и на всех линиях они одинаковы.

По одной и той же линии связи может быть организовано несколько каналов связи. Причём и сами каналы могут быть разных видов – аналоговые или цифровые, или и те и другие. Поэтому нельзя путать понятия линия связи и канал связи. Один и тот же канал может быть образован в процессе соединения через участки с различными направляющими средами.

Про линию нельзя сказать, что она имеет такую-то пропускную способность до тех пор, пока не узнаешь во всех подробностях её построения, структуру направляющей среды, длину соединения и т.п. А если назвать канал, например телефонный канал, или канал радиовещания, то все его характеристики уже известны из рекомендаций МККТТ. Пучки каналов связи образуют ТРАКТ.

По мере развития связи в том числе и в нашей стране, стало возможным соединять абонентов не только в пределах города, региона, но и в пределах всей страны и между странами. Все местные (городские, сельские) и региональные системы связи были объединены в Единую Автоматизированную Сеть Связи (ЕАСС) (теперь ВСС – взаимосвязанная система связи), в рамках которой действуют единые требования к применяемым линиям связи, оборудованию на узлах и станциях, коммутирующим устройствам и т.п. И самое главное, разработаны (и непрерывно отслеживаются необходимость модернизации) требования к параметрам сигналов от различных источников или различного оборудования. Места перехода от сигналов одного вида к сигналам другого вида называют СТЫКАМИ. Стыкование для различного оборудования, линий связи, переход на междугородние и международные линии – важнейшая и трудоёмкая часть по обеспечению связи.

Сеть ВСС строится по территориальному признаку. Низшая сеть – местная – городская, районная, сельская. Далее – внутризоновая сеть – в этой сети объединяются местные сети, соединяя райцентры и города в пределах области. Как правило внутризоновая сеть совпадает с административным делением по краям и областям. В пределах этой сети все телефонные абоненты имеют одинаковое количество цифр в

наборе номера. Структура внутризоновой сети обычно радиальная, т.е. областной центр радиально соединяется с другими телефонными узлами на данной территории.

Магистральная сеть соединяет между собой все областные центры, объединяя внутризоновые сети в единую ЕАСС.

Для коммутации сообщений в сети необходимых местах строятся сетевые станции (СС) – обычно на концах линии передачи или на местах сквозного транзита, и сетевые узлы (СУ) на местах, где требуется обеспечивать коммуникацию на много направлений.

Магистральная, внутризоновая и местная сеть совместно с СУ и линиями связи образует ПЕРВИЧНУЮ СЕТЬ.

Для обеспечения передачи по первичной сети ВВС различных видов сигналов, телефонных, телеграфных, факсимильных, передачи газет, передачи данных, телевизионного и звукового вещания, а также для автоматического управления процессами коммутации сигналов по тем или иным маршрутам, потребовалось дополнительное оборудование и дополнительные связи между различным станционным оборудованием. На базе первичной сети была создана вторичная сеть, позволяющая более гибко организовывать различные пути передачи сигналов.

Вторичная сеть позволяет организовать на базе первичной сети кроме телефонной связи и другие виды связи, например телеграфные сети, системы передачи данных, факсимильную связь, передачу телевизионных передач, звуковое вещание и т. п.

Поскольку при этом используется множество различной аппаратуры, в том числе однотипной, но от разных производителей, то должны выполняться определённые требования к входным и выходным параметрам аппаратуры независимо от конкретного исполнения тем или иным производителем. Нормируются уровни входных и выходных сигналов, ширина их спектров, входных и выходные сопротивления, длины различных участков линий передач, число допустимых ошибок и т. п. Нормативные величины устанавливаются в качестве рекомендательных специальными международными организациями, например МККТТ (ССИТТ) (Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии) и МККРТ (ССИР) (Международный консультативный комитет по радиовещанию и телевидению).

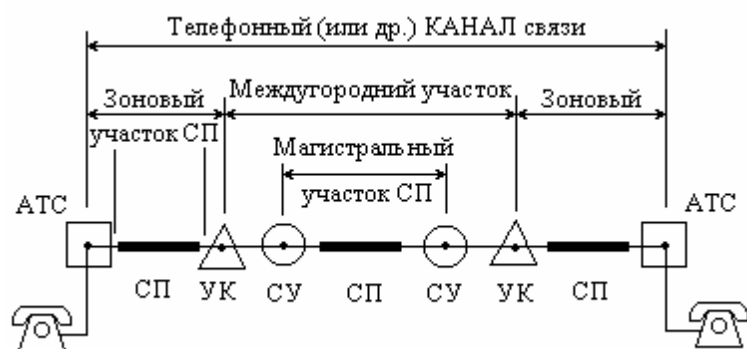


Рис. 1.1. Структура составного канала сети ВСС.

- СП – система передачи;
- АТС – автоматическая телефонная станция;
- УК – узел коммутации;
- СУ – сетевой узел.

Принципы построения многоканальных систем передач.

Для одновременной передачи N сигналов от N источников (пользователей) по одной и той же линии передачи эти сигналы необходимо объединить в некоторый единый сигнал, т.е. произвести обратное действие, т.е. разделение (разуплотнение).

Речь человека с достаточным качеством и разборчивостью можно передавать в полосе частот $300 \div 3400$ Гц, т.е. $\Delta f = 3,1$ кГц. Аналоговый сигнал с такой полосой связисты называют основным, тональным или речевым сигналом, а канал, по которому его передают – телефонным каналом (речевым каналом, каналом тональной частоты).

Процесс уплотнения нескольких каналов называют ещё группообразованием, а в последнее время мультиплексированием.

Имеется два основных способа уплотнения-разделения.

1. Частотный метод разделения (объединения) каналов и основанная на этом методе система передачи с частотным разделением каналов (СП с ЧРК).

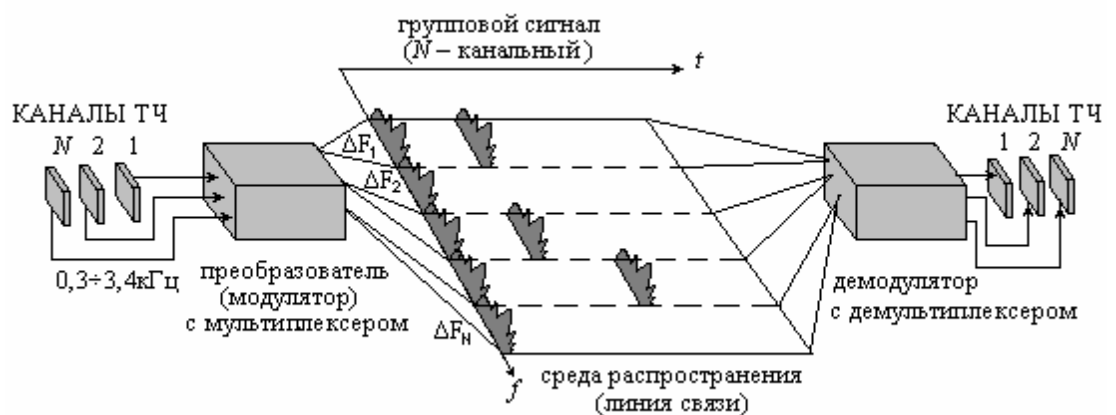


Рис. 2. Принцип СП с ЧРК.

Спектр каждого канала ТЧ с помощью модулятора переносится в более высокочастотную область, и с помощью мультиплексора все каналы объединяются в общий групповой поток с различными несущими частотами. При мультиплексировании используется лишь одна боковая полоса модулированного сигнала с подавлением несущей.

2. Временной метод разделения каналов и на его основе система передачи с временным разделением каналов (СП с ВРК).

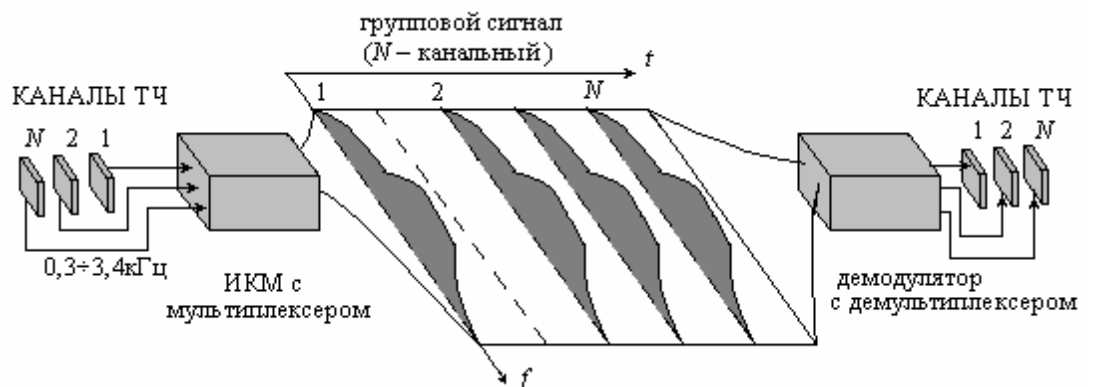


Рис. 3. Принцип СП с ВРК.

Сигналы каждого канала ТЧ поочерёдно дискретизируются, квантуются и мультиплексируются. Каждый канал занимает весь спектр канала, но передается поочерёдно.

Лекция № 2

Системы с ЧРК

1.1. Основные характеристики первичных сигналов

Под первичными сигналами будем понимать электрические сигналы вырабатываемые/принимаемые пользователем сети связи

Вид сообщений	$f_{\text{мин}}$, кГц	$f_{\text{макс}}$, кГц	D, дБ	$A_{\text{с/ш}}$, дБ	Скорость передачи	
					Бит/с	Бод
Телефонный	0,3	3,4	40	21	$8 \cdot 10^3$	-
Телеграфный	0	$1/t_{\text{имп}}$				50, 100 и 200
Факсимильный	0	1,465	24	35	$11,7 \cdot 10^3$	
Передача газет	0,05	240	-	35		
Звуковое вещание					$360 \cdot 10^3$	
высший класс	0,03	15				
первый класс	0,05	10				
второй класс	0,1	6,3				
Телевизионный	0,05	6000	40	57		
Передача данных	0	$0,5 \cdot 1/t_{\text{имп}}$	-	20	$80 \cdot 10^3$	50, 100, 200, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 24000, 48000, 96000

Здесь $D = 10 \lg \frac{P_{\text{с макс}}}{P_{\text{помех}}}$ - динамический диапазон сигнала

$A_{\text{с/ш}} = 20 \lg \frac{U_{\text{ср. сиг}}}{U_{\text{ш психоф}}}$ - превышение среднего значения сигнала над психофизическим уровнем помех.

Для факсимильной связи и TV сигнала:

$$A_{\text{с/ш}} = 20 \lg \frac{U_{\text{с макс}}}{U_{\text{ш}}}; U_{\text{ш}} - \text{уровень невзвешенного шума.}$$

Для двоичных сигналов $A_{\text{с/ш}}$ вычислено при вероятности ошибки $P_{\text{ош}} = 10^{-6}$.

1.2. Основной телефонный канал

Исторически уплотнение производилось, как правило, для телефонных каналов. Поэтому этот канал используется в качестве основного. Часто его называют *каналом тональной частоты (ТЧ)* или *речевой канал (РЧ) (Voice Channel)*. Другие виды передачи (телеграфия, вещание, факсимильная и т.п.) оцениваются в сравнении с каналом ТЧ. Поэтому этот канал стандартизован комиссией МККТТ и имеет строго регламентированные параметры одинаковые практически во всём мире. Канал ТЧ занимает полосу частот 0,3 – 3,4 кГц. По такому каналу можно передавать не только телефонные (речевые) сигналы, но и другую информацию, занимающую идентичную полосу частот. Для передачи более широкополосных сигналов (вещания, телевидения и т.п.) объединяют по несколько каналов ТЧ.

Электрические сигналы при передаче от одного абонента к другому проходят через нелинейные преобразователи, усилители, промежуточные (линейные – от понятия линии связи) усилители, усилители – регенераторы, узловые АТС, линии связи. Чтобы поддерживать качество связи должны выдерживаться стандартные требования на уровни мощности передаваемых сигналов, уровни усиления в заданной полосе частот и с заданными характеристиками КЧХ усилителей и линий передачи. В системе всегда имеются тепловые и иные шумы в линиях связи и оборудовании. Поэтому оговариваются и уровни допустимых помех, а точнее уровни отношения сигнал/помеха на различных участках канала. А это в свою очередь приводит к стандартным длинам участков линии связи, через которые необходимо ставить линейные усилители – регенераторы, восстанавливающие сигнал и необходимое превышение его уровня над шумами.

Все эти свойства канала ТЧ описаны в соответствующих рекомендациях МККТТ, МККРТ и специальных организаций внутри стран. Этим свойств довольно много.

Мы рассмотрим лишь некоторые свойства в рамках приобретения терминологии.

Динамический диапазон сигнала:

$$D = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}, \text{ дБ (для ТЧ } D=41 \div 55 \text{ дБ, обычно } D=40 \text{ дБ)}$$

Остаточное затухание – величина затухания, вносимая линией связи от её начала к её концу.

$$\alpha_{\text{ост}} = 10 \lg \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}}$$

Затухание в линии связи всегда растёт с ростом частоты сигнала. Рекомендуется использовать линии связи, у которых остаточное затухание укладывается в специальный шаблон.

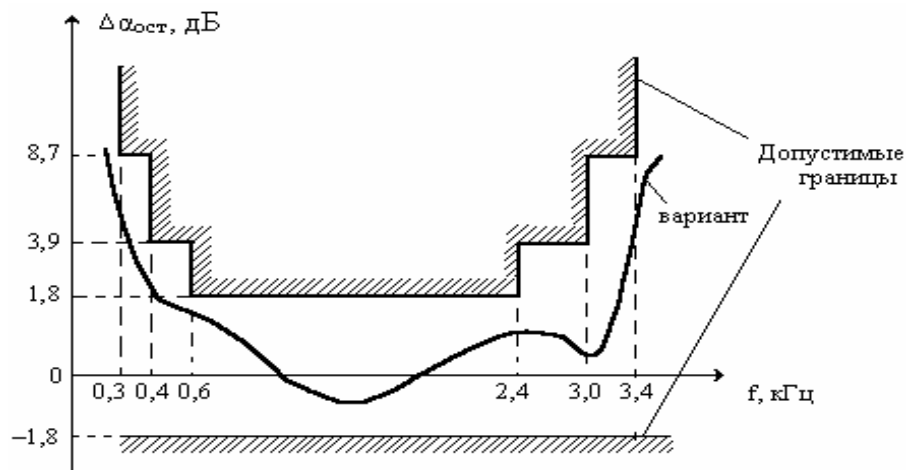


Рис. 4. Шаблон допустимых значений $\Delta\alpha_{\text{ост}}$ канала ТЧ.

Имеются и специальные шаблоны АЧХ для усилителей (их несколько для разных условий организаций связи).

Влияние шумов (помех) в линии.

Человеческое ухо неодинаково воспринимает шумы одинаково мощности, но в разном диапазоне слышимых частот. Т. е. ухо обладает частотной характеристикой восприимчивости.

Поэтому при изменениях шумов их вначале пропускает через специальный психометрический фильтр, имитирующий АЧХ уха. На рис. 5 показан вид АЧХ психометрического фильтра.



Рис. 5. АЧХ псофометрического фильтра.

Шум на входе фильтра (или без фильтра) называют невзвешенным $P_{ш}$, а на выходе – взвешенным псофометрическим $P_{псф}$. Для ТЛФ канала

$$K_{псф} = 10 \lg \frac{P_{ш}}{P_{пср}} = 2,5 \text{ дБ (1,78 раза) - псофометрический коэффициент.}$$

Мощность шумов в линии растет пропорционально длине линии. На практике принимают, что примерно 50 % шума порождается линией, 50 % аппаратурой, причем допускается на 1 км магистральной линии порождать псофометрического шума не более $1 \div 3 \cdot 10^{-12}$ Вт.

Влияние шума при телефоном разговоре можно оценить исходя из практических измерений.

Если в какой-то точке телефонной линии (например, в точке приема, обеспечить нулевой измерительный уровень полезного сигнала, т.е. $P_{ст} = 1 \text{ мВт}$ (т.е. $10 \lg \frac{P_c}{P_o} = 0$)), то при

псофометрической (взвешенной) мощности помех:

$$P_{псф} = 10000 \text{ пВт} = 10^{-8} \text{ Вт} - \text{шумы едва слышны};$$

$$P_{псф} = 100000 \text{ пВт} = 10^{-7} \text{ Вт} - \text{разборчивость речи ещё достаточна};$$

$$P_{псф} = 10^{-6} \text{ Вт} - \text{качество связи неудовлетворительно.}$$

Для ТЛФ-х магистральных каналов принято, что суммарная мощность псофометрических шумов при самой большой протяженности канала и максимальном количестве регенерационных пунктов не должна превышать 50000 пВт, что соответствует невзвешенной допустимой мощности помех $P_{ш \text{ доп}} \approx 87000 \text{ пВт} = 0,087 \text{ мкВт}$ в точке с нулевым измерительным уровнем.

При этом нормируются и уровни полезного сигнала

$$P_{\text{сигн. сред.}} = 32 \text{ мВт} \quad (P_{\text{пиков.}} = 2220 \text{ мкВт} = 2,22 \text{ мВт}).$$

$$C_{\text{ТЧ}} = \Delta F \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_{с.ср}}{P_{ш}} \right) = 3100 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{0,087}{3200} \right) = 25 \cdot 10^3 \text{ бит/с}$$

Отсюда пропускная способность канала ТЧ

Т.к. макс-я длина магистрального канала 12500 км и на ней 5 переприёмных участков, то $P_{\text{доп}}$ для одного переприёмного участка:

$$P_{\text{доп}} = \frac{50000}{5} = 10000 \text{ пВт}$$

Из них 2500 пВт отводится на аппаратуру, 7500 пВт на линейный тракт.

Один участок (из 5-ти) имеет длину $l_1 = \frac{12500}{5} = 2500 \text{ км}$, тогда на 1 км линейного тракта

$$P_{\text{доп.1км}} = \frac{7500}{2500} = 3 \text{ пВт}$$

Если же магистральный участок будет подключаться к междугородней (глобальной) сети, то требования ещё выше. Магистральный участок (12500 км) должен иметь $P_{\text{доп.}} = 25000 \text{ пВт}$, из них 12500 пВт – линия, 12500 пВт – аппаратура. Это даёт $P_{\text{псф}} = 1 \text{ пВт}$.

Уровни передачи.

Поскольку в протяжённых линиях передачи используются множество разнообразной аппаратуры, включая усилители, преобразователи, регенераторы и т.п. и в линиях передачи и самой аппаратуре всегда присутствуют шумы, то должны быть соблюдены определённые требования не только на ширину полосы сигналов, но и на их уровень по мощности и амплитуде. Оценка количественных соотношений обычно производится в относительных единицах (чаще всего в децибелах). При измерениях используется специальный прибор ВОЛЮМЕТР (измеритель отношений).

В связи оказалось удобным производить оценку относительно мощности 1 мВт, на сопротивлении нагрузки 600 Ом. При этом на сопротивлении нагрузки будут следующие уровни напряжения и тока (напряжение и ток обычно выражают в действующих значениях).

$$P_o = 10^{-3} \text{ Вт}; P_o = U_d \cdot I_d = \frac{U_d^2}{R} = I_d^2 \cdot R$$

Отсюда при $R=600 \text{ Ом}$ получим:

$$U_d = \sqrt{P_o \cdot R} \cong 0,775 \text{ В}; I_d = \sqrt{\frac{P_o}{R}} = 1,29 \text{ мА}$$

$P_o = 1 \text{ мВт}; U_o = 0,775 \text{ В}; I_o = 1,29 \text{ мА при } R_n = 600 \text{ Ом}$

Если в какой либо исходной точке (например, в начале линии) установлены абсолютные уровни, (как бы уровни начала отсчёта), то их ещё называют **НУЛЕВЫМИ АБСОЛЮТНЫМИ** уровнями.

Если абсолютные уровни P_o, U_o, I_o рекомендованы в качестве отсчётных, то их ещё называют **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ УРОВНЯМИ**.

Например, если сравнивать уровень мощности в конце линии P_x с нулевым абсолютным уровнем в начале линии, то их отношения

$$P_m = 10 \cdot \lg \frac{U_x^2}{U_0^2} \cdot \frac{|Z_0|}{|Z_x|} = 10 \cdot \lg \frac{U_x^2}{U_0^2} \cdot \frac{|Z_0|}{|Z_x|} = 20 \cdot \lg \frac{U_x}{U_0} - 10 \cdot \lg \frac{|Z_x|}{|Z_0|} = P_H - 10 \cdot \lg \frac{|Z_x|}{|Z_0|} \quad , \quad \text{т.е.}$$

$$P_m \neq P_H$$

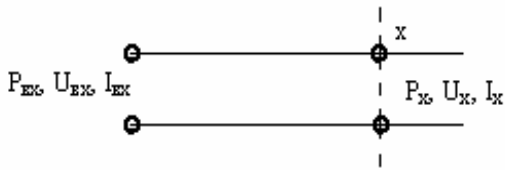
или по току $P_M = P_T - 10 \cdot \lg \left| \frac{Z_x}{Z_0} \right|$, т.е. $P_M \neq P_T$

где $P_M \neq P_H$ и $P_M \neq P_T$ зависит от рассогласования сопротивлений.

Относительным называют уровень передачи, когда за исходные величины приняты мощность, напряжение и ток в какой-либо произвольной точке цепи, относительно которой и производится измерения.

Измерительным называют уровень передачи в какой-либо точке цепи (равный абсолютному уровню), если на входе цепи установлены значения P_0, U_0, I_0 .

Если P_x, U_x, I_x равны исходным (например равны уровням в начале линии), то \lg их отношения будет равен нулю. Такие уровни передачи называют НУЛЕВЫМИ, т.е. это передача без затухания.



При измерениях мощности, напряжения или тока в линии передачи их сравнивают с каким-либо исходным значением. Поэтому различают АБСОЛЮТНЫЙ, ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ и ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ уровни передачи.

Абсолютным называют такой уровень передачи, когда измеренные значения соотносят с величинами $P_0=1\text{мВт}$, $U_0=0,775\text{В}$, $I_0=1,29\text{мА}$.

$$P_{\text{мощ}} = 10 \cdot \lg \frac{P_x}{P_0}, \text{ дБмО [dBmO]}; P_{\text{напр}} = 20 \cdot \lg \frac{U_x}{U_0}, \text{ дБмО}; P_{\text{ток}} = 20 \cdot \lg \frac{I_x}{I_0}, \text{ дБмО}.$$

Если эти уровни определяются при сопротивлении $R_n = 600 \text{ Ом}$, то $P_M = P_H = P_T$.

Лекция №3

Структура многоканальной системы передачи с ЧРК.

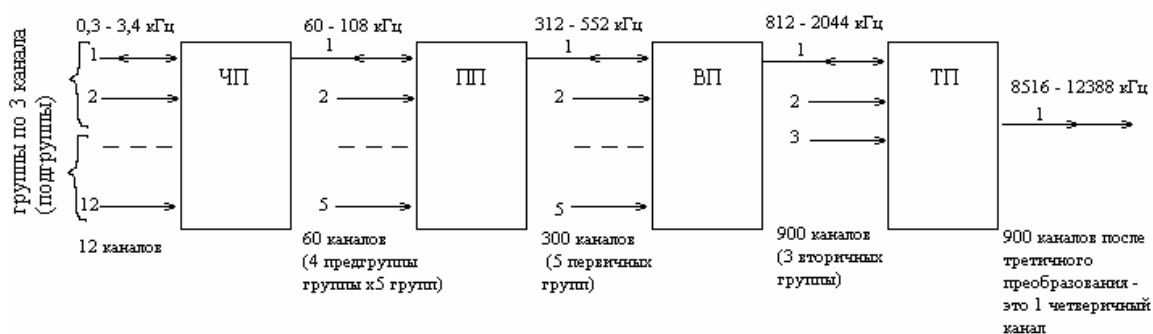
ГРУППОБРАЗОВАНИЕ (уплотнение) каналов в системе с ЧРК носит иерархический характер. На основе каналов ТЧ с рассмотренными выше характеристиками строятся следующие групповые каналы (тракты):

Наименование группы каналов	Диапазон занимаемых частот, кГц	Число каналов ТЧ	Число объединяемых групп
Предварительная группа (ПрГ)	12÷24	3	- (используется редко)
Первичная группа (ПГ)	60÷108	12	4 ПрГ
Вторичная группа (ВГ)	312÷552	60	5 ПГ
Третичная группа (ТГ)	812÷2044	300	5 ВГ
Четверичная группа (ЧГ)	8516÷12388	900	3 ТГ

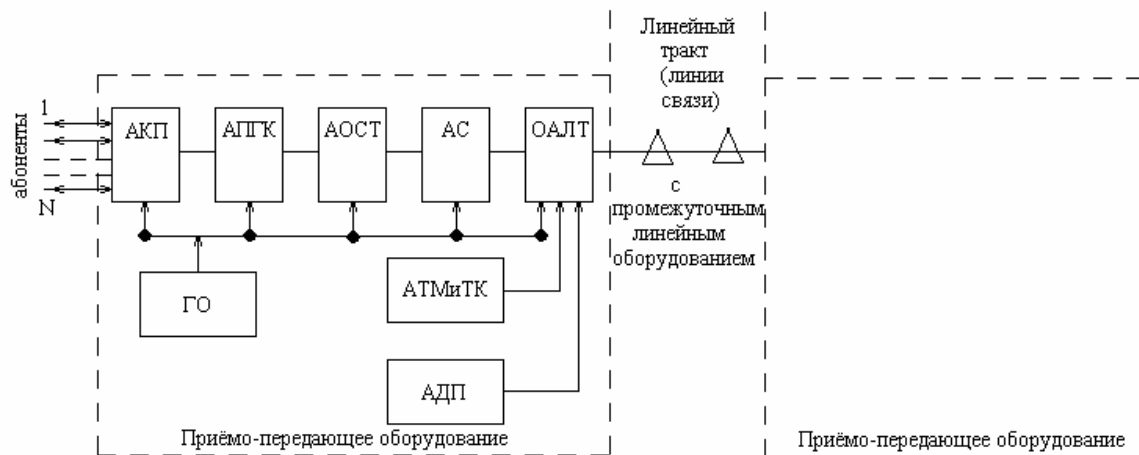
Совокупность устройств, обеспечивающих образование групп каналов ТЧ и широкополосных каналов, называется *каналообразующим* оборудованием.

При необходимости передавать широкополосные сигналы (передача газет, ТВ сигналы, передача данных) каналообразующая аппаратура позволяет объединять несколько каналов ТЧ, или групп каналов для обеспечения требуемой ширины частот – широкополосный канал.

Структурная схема группообразования в СП с ЧРК.



Более обзорно передачу и приём в системах передачи с ЧРК можно представить следующим образом:



АКП – аппаратура канального преобразования. Преобразует полосы 0.3- 3.4 кГц групп по 12 каналов ТЧ в основную первичную группу с полосой частот 60 – 108 кГц.

АПК – аппаратура образования групп каналов. Здесь 5 ПТ преобразуется в полосу 312-552 кГц вторичной группы (ВТ), далее 5 ВТ в полосу 812-2044 кГц третичной группы, и далее 3 ТГ в полосу 8516-12388 кГц четверичной группы (ЧГ) (и обратно).

АОСТ – аппаратура образования сетевых широкополосных трактов, их коммутацию при вводе и выводе, взаимную замену тракту (при необходимости), а также ввод контрольных частот на передаче или их подавление на приёме.

АС – аппаратура сопряжения, в которой формируется необходимый спектр линейного сигнала для конкретной линии передачи путём преобразования и объединения стандартных спектров групп каналов или трактов на передаче и обратные действия на приёме.

ОАЛТ – оконченная аппаратура оконченного тракта, обеспечивающая в полосе передачи, и устанавливающая необходимые уровни многоканального широкополосного сигнала. Здесь же обеспечивается ввод и подавление контрольных сигналов.

ГО – генераторное оборудование – высокостабильные генераторы, стабилизированные от кварцевого генератора, необходимые для гетеродинов модуляторов и демодуляторов (преобразователей частоты).

АТМ и ТК – аппаратура телемеханики и телеконтроля. Служит для управления несколькими необслуживаемыми усилительными пунктами и контроля их состояния.

АДП – аппаратура дистанционного питания необслуживаемых линейных пунктов.

Основными частями аналоговой системы передачи данных является преобразовательное оборудование оконченных станций и оборудование линейного тракта.

Оконечное оборудование содержит преобразователи частоты, позволяющие переносить спектр сигнала в необходимый частотный диапазон, а также аппаратуру индивидуального преобразования, объединяющую группы по 12 каналов ТЧ, и аппаратуру каналообразования различных ступеней (ПГ; ВГ; ТГ).

Состав и объём преобразовательного оборудования, его разнотипность, надёжность, гибкость использования, совместимость групповых трактов при перемене (ретрансляции), вводе-выводе (т.е. интерфейсы оборудования), зависят как от числа объединяемых каналов (канальность оборудования) так и от числа групп, объединяемых на последующих ступенях данного оборудования.

Есть оптимум зависимости числа преобразовательных устройств от числа объединяемых каналов ТЧ и числа объединяемых групп. Чем меньше количество каналов и групп объединяются на каждой ступени, тем больше потребуется оборудования для формирования линейного сигнала, но чем больше объединяется каналов и групп, тем сложнее становится преобразовательное оборудование (а значит и дороже и менее надёжно). Г. Ф. Майером получено, что оптимальным является число объединяемых каналов и групп – 3. Однако этот оптимум “размытый” и на практике целесообразнее оказалось от 3 до 5.

Оборудование ОАЛТ – формирующее окончательный спектр линейного сигнала зависит от типа используемых линий передачи, поэтому оно индивидуально для конкретных линий передачи.

Для частичного сокращения объёма преобразовательного оборудования часто спектр некоторого количества групп сразу переносится в диапазон передачи линейного тракта (например в К-1920П одна ВТ и одна ТГ – в линейный спектр). В любом оборудовании сигналы должны отвечать стандартным уровням, диапазонам частот.

Конструктивно оконечное оборудование размещается на стойках (стойка индивидуального преобразования, стойки ПГ; В; Т преобразователей, стойки сопряжения). Кроме этого на оконечных и узловых станциях имеются и другие стойки для обеспечения телеконтроля, служебной связи, ввода кабельного оборудования, обеспечение дистанционного питания и т.п.

Качество линейного тракта определяет основные технико-экономические показатели аналоговой СП. В состав линейного тракта входят сами линии передачи (воздушные, симметричные витые коаксиальные кабели), усилительные станции (обслуживаемые и необслуживаемые, включая узловые), оборудование дистанционного питания,

устройства телемеханики и телеконтроля, оборудование магистральной, постанционной и участковой служебной связи.

Линейные усилители как оконечных, так и промежуточных станций имеют устройства для установки на месте или дистанционно величины усиления под длину конкретного усилительного участка и автоматическую регулировку АРУ для компенсации температурных изменений затухания проводников, а так устройства для корректировки АЧ и ФЧ спектра сигналов.

Часть линейного тракта между двумя соседними пунктами называется секцией.

Лекция №4

Одно и двухнаправленные системы передачи

В системах связи (особенно телефонной) наиболее часто возникает необходимость одновременной передачи сигналов между абонентами в обоих направлениях, т.е. канал связи должен быть двустороннего действия. Такая связь называется дуплексной и может быть обеспечена по четырехпроводной линии. По одной паре проводников (или по одному коаксиальному кабелю) осуществляется передача в одном направлении, а по другой – в обратном. Каждая пара образует канал одностороннего действия. С увеличением расстояния растут потери в линии. Для компенсации потерь и коррекции фазочастотных искажений сигнала через определенные расстояния в линию включаются *линейные усилители*. Усиление в усилителях происходит только в одном направлении – с входа на выход. Поэтому сигналы на передачу и на прием необходимо усиливать отдельными усилителями. Таким образом, четырехпроводная система связи образуется из двух каналов одностороннего действия, как это показано на рис. 4.1. Окончание этого канала называют *четырёхпроводным окончанием* канала ТЧ. Дуплексную связь можно осуществить и по одной паре проводников на сравнительно небольшие расстояния, на которых потери еще невелики. Именно такая двухпроводная абонентская линия подведена к обычным телефонным аппаратам. Для выделения из двухпроводной линии сигналов противоположных направлений используется так называемое *развязывающее устройство (РУ)*. С помощью РУ осуществляется подключение двухпроводного окончания к четырехпроводному (см. рис. 4.1).

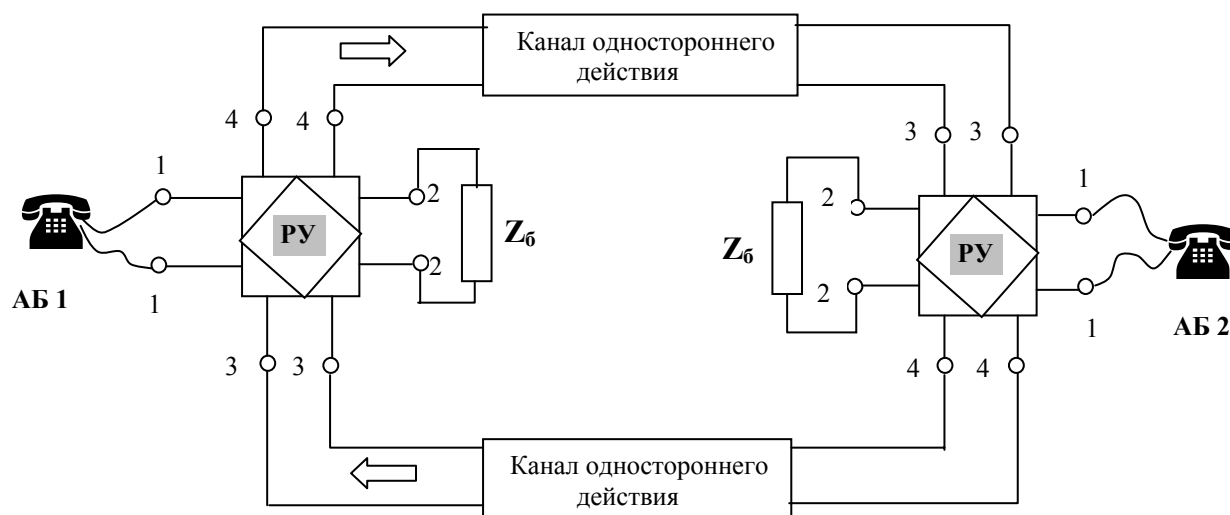


Рис. 1. Структурная схема канала двустороннего действия с двухпроводным окончанием

РУ обычно строится на основе мостовой схемы с использованием дифференциального трансформатора, а в простейших случаях на сопротивлениях. Такое устройство еще называют *дифференциальной системой (ДС)*.

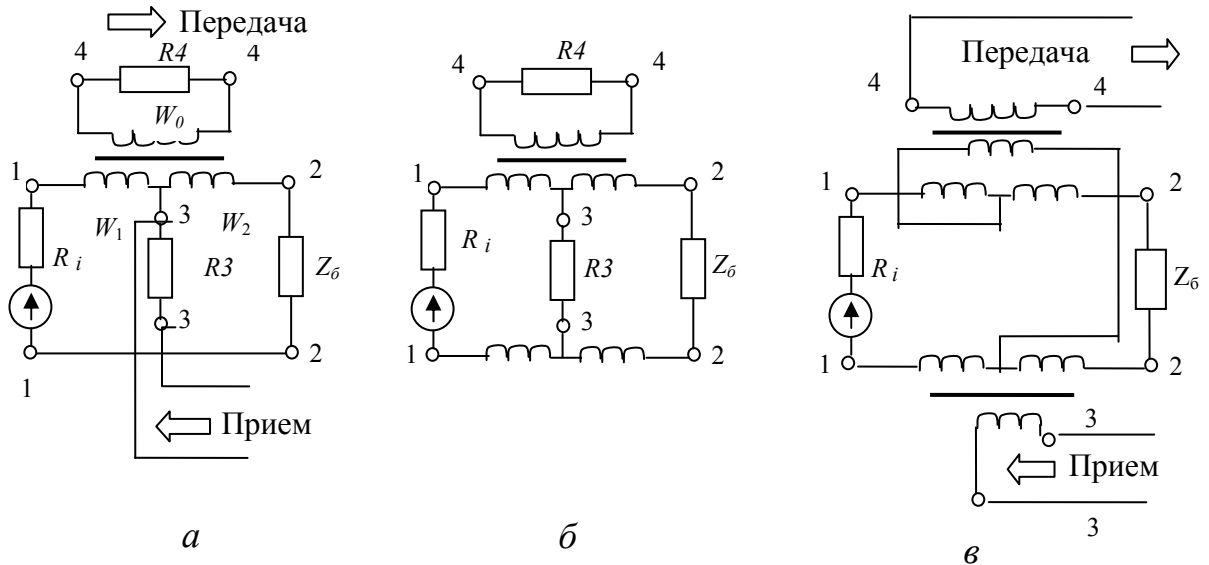
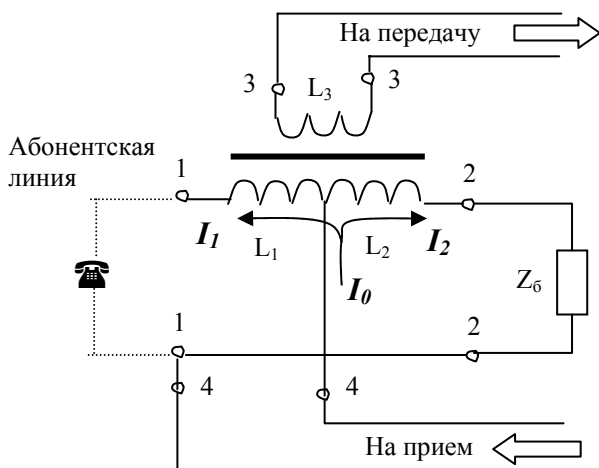


Рис.4.2. Схемы включения дифференциальных трансформаторов

Основное назначение РУ – обеспечить передачу сигнала в направлении клемм от 1-1 к 3-3 с малыми потерями и прием сигнала с клемм 4-4 к 1-1. В направлении от 3-3 к 4-4 (и наоборот) – должно обеспечиваться большое затухание для ослабления действия линий одностороннего действия друг на друга.

Рассмотрим подробнее работу мостовой схемы с дифференциальным трансформатором.



$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_{\text{АЛ}} + j\omega L_1; \quad \underline{Z}_2 = \underline{Z}_6 + j\omega L_2. \quad \underline{Z}_2 = m \underline{Z}_1$$

Со стороны клемм 4-4 входное сопротивление:

$$\underline{Z}_{\text{вх } 4} = \underline{Z}_1 * \underline{Z}_2 / (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2) = m / (1 + m)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{U}_4 / \underline{Z}_1; \quad \underline{I}_2 = \underline{U}_4 / \underline{Z}_2; \quad \text{отсюда}$$

$$\underline{I}_1 / \underline{I}_2 = \underline{Z}_2 / \underline{Z}_1 = m - \text{коэффициент трансформации.}$$

В сбалансированной системе падение напряжения на клеммах 1-1 (сюда входит сопротивление абонентской линии совместно с сопротивлением оборудования пользователя) равно падению напряжения на балансном сопротивлении. Условием баланса развязывающего устройства будет: $I_1 * Z_{AJT} = I_2 * Z_{\delta}$. Так как в индуктивностях L_1 и L_2 токи протекают в противоположных направлениях, то напряжение U_{4-3} , наводимое ими в индуктивности L_3 , определяется разностью напряжений на индуктивностях L_1 и L_2 . В идеальном случае сигнал с клемм 4-4 не должен проникать в канал передачи на клеммы 3-3, т.е. напряжение U_{4-3} должно быть равным нулю.

Через РУ сигнал должен проходить в направлениях от клемм 1-1 к клеммам 3-3 и от клемм 4-4 к клеммам 1-1. Затухания в этих направлениях:

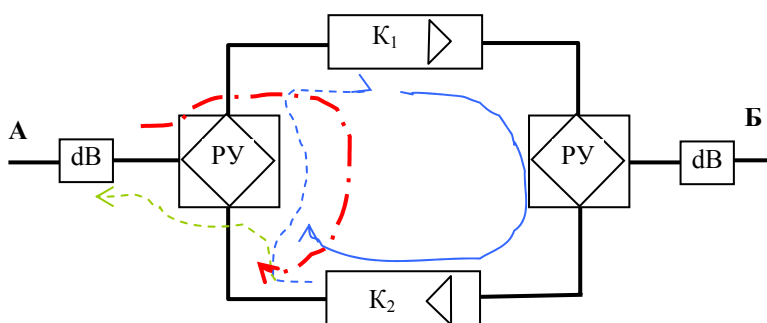
$$a_{4-1} = a_{1-4} = 10 \lg P_4 / P_1 = 10 \lg(1+m)/m$$

$$a_{4-2} = a_{2-4} = 10 \lg P_4 / P_2 = 10 \lg(1+m)$$

$$a_{4-3} = a_{3-4} = 10 \lg P_4 / P_3$$

При идеальном согласовании сигнал с клемм 4-4 на клеммы 3-3 не передается и $P_3=0$. В этом случае $a_{4-3} = a_{3-4} = \infty$. На практике в широком диапазоне частот обеспечить согласование и баланс плеч моста не удастся и всегда есть влияние между клеммами 3и 4, т.е. $a_{4-3} = a_{3-4} \neq \infty$. Для улучшения балансировки при удаленных абонентах 2-х проводных окончаний используют так называемые *удлинители*, вносящие необходимое затухание и согласование сопротивлений.

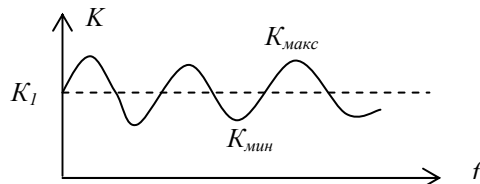
Конечная величина затухания a_{4-3} приводит к тому, что часть сигнала из передающей пары проводников переходит в приемные проводники (*действие на ближнем конце*). Причем, это влияние при плохой балансировке РУ может быть значительно больше, чем помех, наводимых из пары в пару за счет линейных переходов. При больших расстояниях в линии могут использоваться несколько усилительных пунктов, где тоже могут быть развязывающие устройства. Их неполная балансировка тоже добавит переходных помех. Неполное согласование РУ на *дальнем конце* (у абонента Б) приводит к тому, что часть сигнала, пришедшего от абонента А проходит в канал на передачу от абонента Б. Эта часть вновь возвращается к абоненту А. Таким образом возникает замкнутая петля связи (*петлевое усиление*). При наличии нескольких усилительных пунктов возникает несколько замкнутых петель.



Такую систему можно рассматривать как систему усиления с обратной связью (в нашем случае паразитной). Одно (любое) направление можно принять за направление усиления с усилением K_1 , а другое, как цепь обратной связи с коэффициентом передачи K_{oc} .

Тогда в направлении усиления (например от абонента А к абоненту Б) можно записать:

где $K_{yc} = K_1 / (1 - \underline{T})$,
 $\underline{T} = 10^{0,05 (K_1 + K_2 - a_{3-4} - a_{4-3})} e^{j\varphi}$ - петлевое усиление. Из теории усилителей с обратной связью известно, что из-за частотной зависимости $\underline{T} = f(\omega)$, а также коэффициентов усиления K_1 ; K_2 и затуханий a_{4-3} ; a_{3-4} в знаменателе знак может меняться и модуль K_{yc} будет также зависеть от частоты. График модуля принимает волнообразный характер.



$$\Delta K = /K_1 - K_{yc} / = 20 \lg [1 - 10^{-0,05 X_{ycm}} e^{j\varphi}],$$

где $X_{ycm} = (a_{4-3} + a_{3-4}) - (K_1 + K_2)$ - запас устойчивости системы. По абсолютной величине запас устойчивости должен быть выше некоторого порогового уровня $X_{пор}$. Эта величина в системах передачи рассчитывается и проверяется в процессе эксплуатации. Значение $X_{пор}$ обычно не менее 40 дБ. Запас устойчивости необходим для предотвращения возможного самовозбуждения в системе. Для увеличения запаса устойчивости специально вводят пассивные или автоматически подключаемые ослабители- аттенюаторы (дБ) в разных местах системы. Места их подключения зависят от конкретных условий согласования тракта.

Другим неприятным следствием переходного влияния является появление «эхо – сигнала». Например, сигнал от говорящего абонента А (ближний конец) проходит по линии и с некоторым затуханием передается на дальнем конце В из точек 3-3 в точки 4-4 (за счет конечной величины a_{3-4}). Сигнал хоть и будет ослаблен, но он может быть вполне достаточным, чтобы, пройдя по обратной линии быть услышанным самим говорящим. Это будет «первое эхо» говорящего. За счет конечной развязки РУ на ближнем конце часть эхо-сигнала вновь попадет в канал передачи и через время распространения по каналу будет вновь услышан на дальнем конце. Это «первое эхо слушающего». Таких, постепенно угасающих эхо сигналов, в плохо сбалансированной системе может быть слышно не один раз. Это сильно ухудшает разборчивость речи и психологически мешает вести переговоры. Из практики, если задержка эхо сигнала (туда-обратно) не превышает 30 мс, а уровень эха мал, то влияние эхо сигнала пренебрежимо. Если задержка выше, то приходится применять специальные *эхозаградители*. Они подключатся в разговорный тракт автоматически, если пойдет эхо сигнал от *слушающего* абонента к передающему. Но если слушающий вдруг заговорит, то заградитель может не успевать отключиться и часть слова будет «обрезано». В этом недостаток применения эхозаградителей.

Для лучшего согласования РУ с абонентской стороны в двухпроводном окончании могут устанавливаться дополнительные резистивные аттенюаторы, называемые *транзитные (или телефонные) удлинители*.

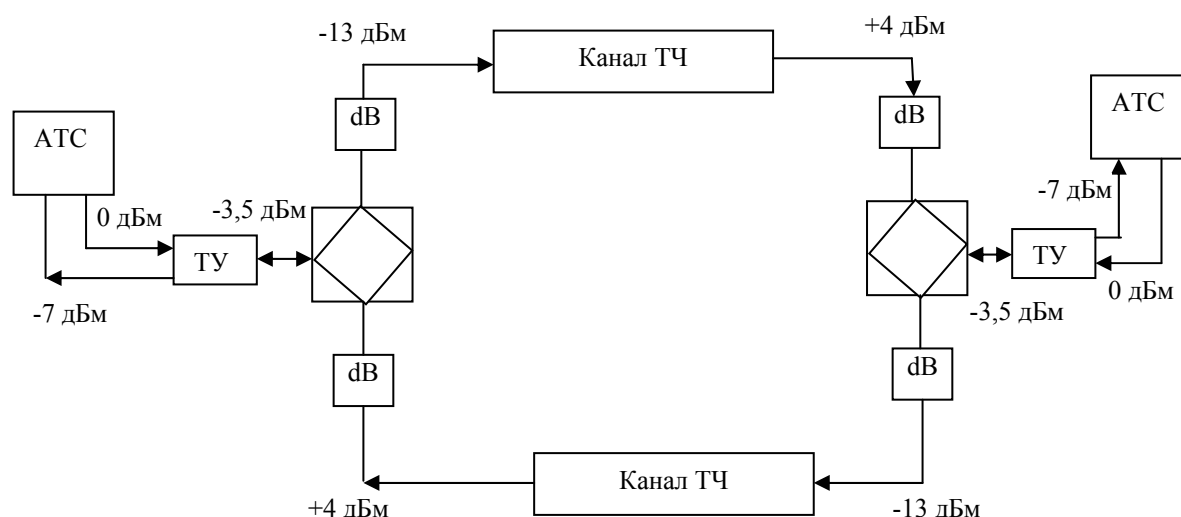
Для устойчивой работы системы необходимо выполнять условия как по согласованию РУ, так и условия по уровням ослаблений и усиления сигнала. Уровни входных и выходных сигналов в 2-х проводных и 4-х проводных окончаниях нормируются. Обычно за 0 дБ принимается уровень передаваемого сигнала на выходе 2-х проводного окончания.

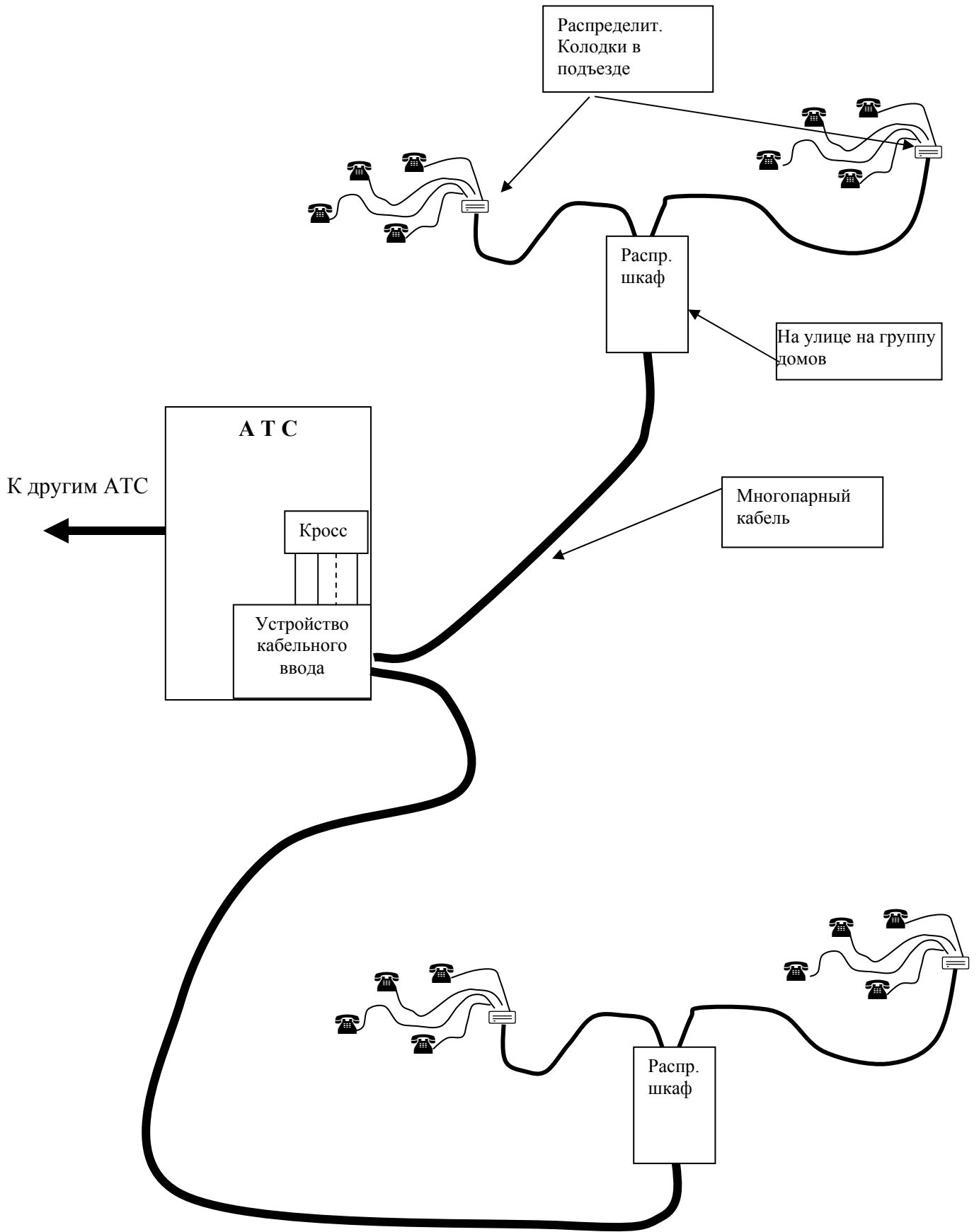
Для каждого типа соединений имеются нормативы. Например, для телефонного канала сигнал на выходе и входе АТС должен иметь затухания:

- на передачу 0 дБ;
- на прием -7 дБ.

Число усилительных пунктов обычно не должно превышать пяти.

Распределение ослаблений по телефонному каналу показано на приведенном рисунке.





Лекция 5

Шумы в линии передачи. Расчёт длины усилительного участка.

Из всего многообразия шумов, действующих в линиях передачи, основное внимание должно быть уделено собственным тепловым шумам, нелинейным шумам и шумам линейных переходов. По своему действию они создают так называемые совпадающие и несовпадающие помехи.

Совпадающие помехи в ТЛФ тракте создают внятные переходные разговоры. Эти переходные разговоры порождаются за счёт линейных переходов на передающем и приёмном концах усилительных участков за счёт конечной балансировки развязывающих устройств, по цепям питания и за счёт электромагнитных наводок внутри кабеля от соседних проводников. Внятные переходные помехи психологически очень мешают. На них норма по защищённости не менее 60 дБ.

Несовпадающие помехи – 50 дБ-защищённость. Наибольшее значение уровней помех при полной загрузке тракта.

Допустимые соотношения: $P_{\text{совп}} : P_{\text{несов}} : P_{\text{лин.пер}} = 1 : 1 : 2$ – для симм. кабеля
 $1 : 1 \times$ – для коакс.

При расчёте шумовых характеристик линий передач в качестве нормированного эталона используют характеристики эквивалентной гипотетической цепи (ЭГЦ). Для ЭГЦ эти параметры записаны в нормативных документах МККТТ.

Например, для ТЛФ каналов протяжённость магистральной ЭГЦ $L_{\text{Э}}=2500$ км (для международной $L_{\text{Э}}=25000$ км) со вполне оговоренными количествами переприёмов по различным иерархическим группам пПГ ; пВГ ; пТГ ; пЧГ. Для такой ЭГЦ средняя за час псофометрическая мощность помехи $W_{\text{Э}} \leq 10000$ пВт или $\frac{W_{\text{Э}}}{L_{\text{Э}}} = 3$ пВт / 1 км (для международных $\frac{W_{\text{Э}}}{L_{\text{Э}}} = 1 \div 1.5$ пВт).

Расчёт длины усилительного участка

1) Пусть собственные тепловые шумы всей проектируемой линии для реальных усилителей и реальных кабелей $P_{\text{ш}\Sigma}$. Тогда для одного участка при равномерном распределении участков (что и делается на практике):

$$P_{\text{ш}1} = \frac{P_{\text{ш}\Sigma}}{n}, \text{ или, если взять каждый вид шума в дБ:}$$

$$P_{\text{ш}1} = 10 \lg \frac{P_{\text{ш}\Sigma}}{n} = P_{\text{ш}\Sigma} - 10 \lg n$$

2) Затухание одного линейного участка

$$A = \alpha \cdot \frac{Z}{n} + A_{\text{АППАРАТ.}}$$

Если $Z \cong L_{\text{Э}}$, то $A = \alpha \cdot \frac{L_{\text{Э}}}{n} + A_{\text{АП}}$

Зная уровень передачи $p_{\text{ПЕР}}$ дБ, получим уровень сигнала, принимаемого на входе каждого усилителя:

$$P_{\text{вх}} = P_{\text{ПЕР}} - A = P_{\text{ПЕР}} - \alpha \frac{L_{\text{Э}}}{n} - A_{\text{АП}}$$

Здесь $P_{\text{пер}}$ и $P_{\text{вх}}$ – допустимые уровни для группового сигнала

Уровень общей мощности сигнал + помеха:

$$(*) P_{Bx_o} = P_{Ш1} + P_{Bx} = P_{Ш\Sigma} - 10 \lg n + P_{ПЕР} - \alpha \frac{L_{\Sigma}}{n} - A_{АП}$$

Из этого уравнения находят допустимое значение n . Тогда длина усилительного участка: $l = \frac{L_{\Sigma}}{n}$.

Из формулы (*) также видно, что при выбранном типе усилителей, т. е. $A_{АП}$ – известно, уровень $P_{Ш1} + P_{Bx}$ будет наибольшим, когда функция

$$y = 10 \lg n - \alpha \frac{L_{\Sigma}}{n} \text{ будет минимальной } y = y_{\min} \text{ при } n = 0.23 \alpha L_{\Sigma} \text{ и тогда}$$

$$P_{Bx_o} = P_{Ш\Sigma} - 10 \lg 0.23 \cdot \alpha \cdot L_{\Sigma} + P_{ПЕР} - 4.35 - A_{АП}$$

Мощности различных видов шумов определяются по следующим формулам:

- Мощность собственных шумов (тепловые шумы линии, элементов схем, флуктуации электропроводности, дробовые шумы электронных приборов и т. п.)

Ко входу каждого из n усилителей магистрали подводится тепловой шум линии $P_{ШТ}$ [дБ] = $10 \lg kT\Delta S$ и собственный шум, пересчитанный ко входу одного усилителя $d_{Ш}$.

$$d_{Ш} = 10 \lg F_{Ш} = 10 \lg \left(\frac{P_{CШ.BX}}{P_{Ш.УС.BX}} / \frac{P_{CШ.BSX}}{P_{Ш.УС.BSX}} \right) \quad - \quad \text{логарифмический}$$

коэффициент шума. Здесь $F_{Ш}$ – коэффициент шума усилителя.

$$P_{ШBx} = P_{ШТ\text{лин}} + d_{Ш}$$

Если усилителей n штук, то:

$$P_{\Sigma Ш} = P + d_{Ш} + 10 \lg n. \text{ Последнее слагаемое здесь учитывает накопление шумов.}$$

Увеличивать длину l усилительного участка по сравнению с нормами МККТТ можно либо увеличивая мощность полезного сигнала – но не допуская увеличения нелинейных шумов, уменьшая собственные шумы усилителей – новая элементная база, новые схемные решения, или производя коррекции и предискажения сигнала. Правда в общем выигрыш не очень большой, но на многих тысячах км немалый. Для широкополосного группового сигнала различие между верхними и нижними частотами спектра довольно значительное. Верхние частоты больше подвержены влиянию шумов. Поэтому вводя предискажение на половине длины линии повышают мощность ВЧ составляющих за счёт некоторого снижения мощности НЧ составляющих. В целом качество всех каналов несколько улучшается.

- Мощность от электромагнитных линейных переходов между проводниками.

$$P_{ЛП} = n \cdot m \cdot (0.2 \cdot 10^{-0.1A_1} + 0.8 \cdot 10^{-0.1A_2}) \cdot 10^{0.1(P_{CP} + A)}$$

n – число усилительных участков;

m – число активно влияющих пар;

A_1 – защищённость на дальнем конце для 20% комбинаций влияющих пар;

A_2 – -----« »----- для 80% -----« »----- ;

P_{CP} – уровень долговременной средней мощности сигнала;

A – затухание усилительного участка.

- Мощность нелинейных помех

$$P_{НО} = 4 \frac{\Delta f}{F} W_{MC} y_2(\sigma) \cdot 10^{-0.1A_2ro(\sigma)} + 24 \frac{\Delta f}{F} W_{MC}^2 [y_{31}(\sigma) + y_{32}(\sigma)] \cdot 10^{-0.1A_3ro(\sigma)}$$

Δf и F – ширина спектра одного канала и всей группы.

$\sigma = \frac{f - f_1}{f_2 - f_1}$ - нормированная частота; f_1 и f_2 – нижняя и верхняя частоты, f –

текущая частота.

$u_2(\sigma); u_{31}(\sigma); u_{32}(\sigma)$ – коэффициенты спектрального распределения продуктов нелинейности второго и третьего порядка первого и второго рода.

$A_{2ГО}(\sigma), A_{3ГО}(\sigma)$ – затухание нелинейностей второго и третьего порядков.

$W_{МС}$ – долговременная мощность многоканального ????? на выходе усилителя при работе без предискажений.

Учёт нелинейных искажений носит весьма сложный и трудоёмкий характер.

Выбор уровней передачи

В практике разработки АСП имеет место два подхода к определению необходимого уровня передачи:

- по заданной длине усилительного участка l и величине тепловых шумов $P_{ШТ}$, оговоренных в ЭГЦ данного типа линии передачи;
- по заданному значению неискажённой мощности на выходе линейных усилителей.

В первом случае для отдельного усилителя известна мощность собственных помех, приведённая ко входу усилителя. Обычно берут психофотметрическую мощность.

$P_{Ш \Sigma ПС}$ – допустимая психофотметрическая мощность шума всего тракта.

Тогда на входе одного усилителя:

$$P_{Ш.л.ПС} = \frac{P_{Ш.Σ.ПС}}{L_э} = \frac{P_{Ш.Σ}}{k_{П}^2} \frac{l}{L_э}$$

где $P_{Ш \Sigma}$ - невзвешенная суммарная мощность помех.

$k_{П} = 0.75$ – психофотметрический коэффициент.

Уровень мощности шумов, приведённых ко входу усилителя (в децибелах):

$$P_{ПС.л} = 10 \lg \frac{P_{Ш.Σ}}{k^2} \frac{l}{L_э}$$

Помехозащищённость (превышение мощности сигнала над мощностью шумов) от собственных помех на входе усилителя:

$$A_{С/П} = p_{ПРИЕМ.об} - p_{ПС.л} = p_{ПЕР} - \alpha \cdot l - 10 \lg \frac{P_{Ш.Σ}}{k^2} \frac{l}{L_э}$$

Затухание α для конкретной линии берётся для худшего случая, т.е. для верхних частот спектра сигнала.

α_1 - затухание на низких частотах

α_2 - затухание на верхних частотах

Чтобы определять степень загрузки каналов и оценивать соотношение сигнал / шум на входах усилителей, нужно учитывать характерные особенности

ТЛФ-х или иных сигналов и выставлять необходимые уровни, не перегружающие усилители.

Для разговорного ТЛФ-го канала (канал ТЧ) уровень средней мощности (в дБ) $P_{КО}$, а при числе каналов ≥ 240

$$(*) \quad P_{МСО} = P_{КО} + 10 \lg N \quad \text{т.е. сумма дБ-ов}$$

$$\text{при } N \leq 240 \quad P_{МСО} = \begin{cases} -3 + 5 \lg N & 60 \leq N \leq 240 \\ -1 + 4 \lg N & 12 \leq N \leq 60 \end{cases} \quad (**)$$

Значение $P_{КО}$ для одного канала имеет национальные особенности.

По рекомендациям МККТТ в России $P_{КО} = -15$ дБм₀ (32 мкВт)

В США $P_{КО} = -16$ дБм₀ (25 мкВт)

Для линий с малым числом каналов качество передачи в России не совсем удовлетворительное. Поэтому используют уровни $P_{КО} = -13$ дБм₀ (50 мкВт) в линиях с $N \leq 2000$, что выше, чем в рекомендациях МККТТ.

В соответствии с (*) и (**) по рекомендациям МККТТ для многоканального сигнала приняты уровни средней мощности.

$N_{КАН}$	12	60	120	300	600	1800
$P_{МСО}$ дБм ₀	3.3	6.1	7.3	9.8	12.8	17.5
$P_{ПИК}$ дБ	19	20.8	21.2	23	25	30

$$P_{ПИК} = P_{МСО} + \Delta p_{ПИК} - \text{допустимое превышение мощности.}$$

Международное соединение может быть длиной до 27500 км.

При проектировании цифровых трактов обычно стремятся обеспечить $P_{ош} = 10^{-6}$. При протяжённых трактах, например, международных (длиной до

27500 км) на различных участках требования к $P_{\text{ош}}$ разные, чтобы в целом обеспечить не хуже 10^{-6} . Для национальных участков принимают $P_{\text{ош}} = 0.4 \cdot 10^{-6}$ и равномерно распределяют эту норму по участкам цепи. При этом $P_{\text{магистр}} = P_{\text{вн.зон.}} = P_{\text{местн.}} = P_{\text{абон.}} = 10^{-7}$. Тогда нормированные значения вероятности ошибок в расчёте на 1 км линии будет $P_{\text{маг.1}} = 10^{-7} / 10000 = 10^{-11}$; $P_{\text{вз.1}} = 10^{-7} / 600 = 1,07 \cdot 10^{-10}$; $P_{\text{м.1}} = 10^{-7} / 100 = 10^{-9}$. Исходя из этих величин нормированных вероятностей ошибок на 1 км, предъявляются требования к линейным регенераторам на участках цепи. (Рекомендация МККТТ G.821). Эта рекомендация довольно сложным образом регламентирует процесс измерений качества каналов связи. На практике чаще всего пользуются величиной КОШ (BER).

В нашей стране по качеству разделяют участки высшего класса (магистральные, 40% ошибок), среднего класса (внутризоновые, 20% ошибок), низшего класса (местн.(7,5%) и абонент.(7,5%)).

Международная градация по рек. G.821 МККТТ

А – низш.; Б – средн.; В – высш..

$P_{\text{ош}}$	Среднее время между двумя ошибками
10^{-2}	0,012 с
10^{-4}	1,2 с
10^{-6}	2 мин
10^{-8}	3 часа
10^{-10}	14 дней
10^{-12}	4 года

Лекция №6

Формирование групповых сигналов в системах с ЧРК

Канал ТЧ $3,4 \div 0,3$ кГц дополняется защитным промежутком $0,9$ кГц. Итого любой канал ТЧ в системе с ЧРК может иметь полосу $\Delta f = 4$ кГц.

Все групповые сигналы в иерархии с ЧРК кратны 12 каналам ТЧ. Первичная группа и объединяет 12 каналов ТЧ. Общая ширина должна быть $\Delta F_1 = 12 \cdot \Delta f = 48$ кГц

- это абсолютная ширина спектра первичной группы.

При передаче первичного сигнала с такой полосой его линиям связи оборудование сопряжения должно сформировать линейный спектр. Частоты линейного спектра для первичной группы выбирались из следующих соображений.

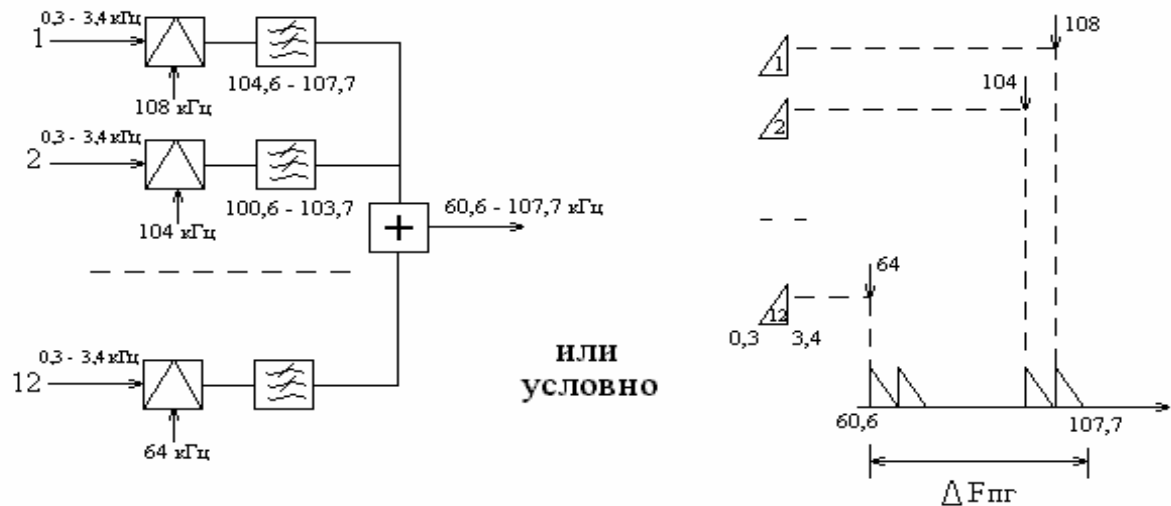
При частотных преобразованиях сигналов всегда возникают дополнительные гармоники и комбинационные составляющие. Значит после преобразования НЧ спектра с полосой $\Delta F_1 = 48$ кГц вверх по частоте нижняя граница нового спектра должна быть выше второй гармоники от 48 кГц. Т. е. лучше бы переместить ΔF_1 в более высокую область частот, где ВЧ гармоники от 48 кГц уже незначительны. Но это потребует неоправданно более высокочастотные гетеродины и всё оборудование будет более сложным и дорогим. Для удешевления лучше бы спектр с ΔF_1 сместить по ниже по оси частот. Выбрали компромисс, при котором качество ещё достаточно высокое. И нижняя часть линейного спектра принята равной $60,6$ кГц, что >48 кГц, но $<2 \cdot 48$ кГц. Тогда линейный спектр ПГ в 12 каналах ТЧ

$$\Delta F_{\text{пр}} = 60,6 \div (60,6 + (11 \times 4 \text{ кГц} + 1 \times 3,1 \text{ кГц})) = 60,6 \div 107,7 \text{ кГц}$$

(округлённо $\Delta F_{\text{пр}} = 60 \div 108$ кГц)

В этом диапазоне разделение по каналам ТЧ осуществляется кварцевыми и магнитострикционными фильтрами. LC фильтры – плохи!

Преобразование спектров индивидуальных каналов в линейный спектр осуществляется посредством 12 гетеродинов (см. рисунок на следующей странице).



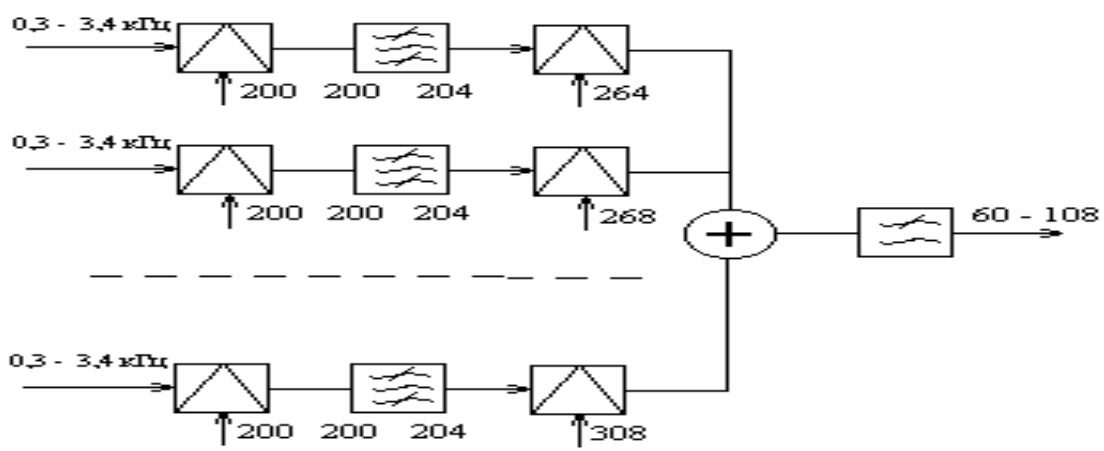
Абсолютная ширина ВГ составляет 5×12 каналов ТЧ, т. е. $5 \cdot 48 = 240$ кГц.
 Исходя из принципов для ПГ с учетом компромисса стоимости и качества
 выбрано для линейного спектра

$$\Delta F_{\text{ВГ}} = 3,12 \div 552 \text{ кГц}$$

Приведённая схема соответствует одноступенному способу преобразования. Реализуются и способы с двумя ступенями индивидуального преобразования, а также способ с одной ступенью индивидуального + одна ступень группового преобразования. У каждого способа есть свои (+) и (-).

При рассмотренном одноступенном индивидуальном преобразовании для выделения ОБП нужны фильтры с крутизной скатов не хуже $0,07$ дБ/Гц в переходной полосе. Это может быть только кварцевые, магнитоstrictionные или электромеханические. А они дорогие.

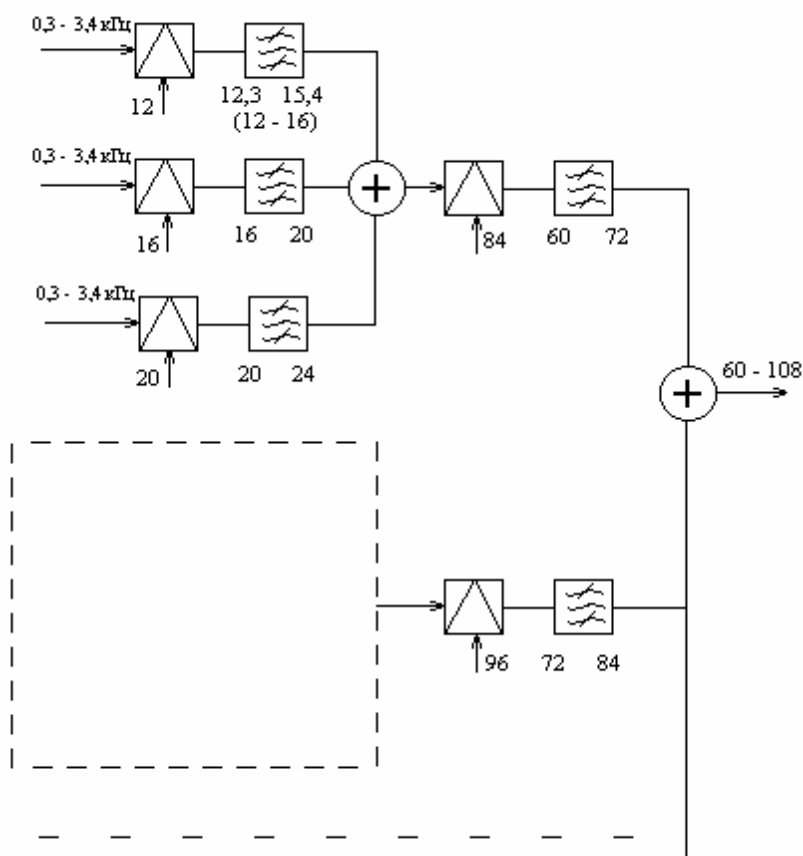
При двухступенном индивидуальном преобразовании первое преобразование происходит на одной несущей (>100 кГц). Например, на частоте 200 кГц. А второе преобразование на своих гетеродинах.



Двухступенное индивидуальное преобразование.

После первого преобразования у всех каналов одна и та же полоса. Применяют однотипные электромеханические полосовые фильтры – это выгодно. После второго преобразования используют вообще один фильтр ФНЧ (типа ФНЧ – 48), т.к. после второго преобразования боковые полосы далеко друг от друга (высокие несущие частоты).

Ещё большее упрощение фильтрации и удешевление оборудования даёт способ одного индивидуального и одного группового преобразования в области низких частот. 12 каналов разбиваются на 4 предгруппы по 3 канала, и в каждой предгруппе осуществляется первое индивидуальное преобразование.

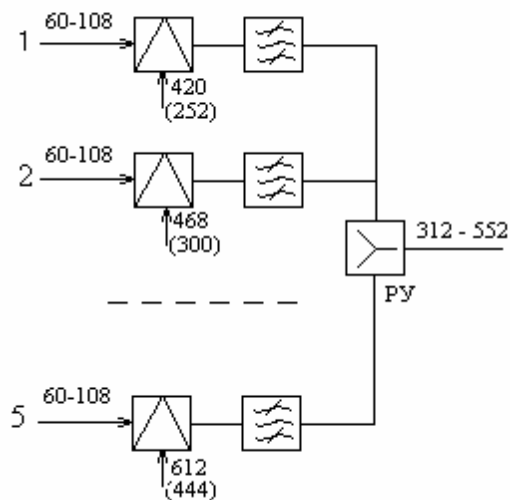


$f_{\text{гет. 1-й ступени}}$ 12; 16;
20; 20 кГц
 $f_{\text{гет. 2-й ступени}}$ 84; 96;
108; 120 кГц

Достаточно LC
фильтры.

Чем больше ступеней преобразования, - тем больше шумов и больше элементов и узлов. Но зато можно использовать однотипные фильтры, что и удешевляет и упрощает наладку и эксплуатацию. Т. е. способ выбора – компромиссный.

Получение вторичной группы $\Delta F_{\text{вг}}=312\div 552$ кГц. РУ – развязное устройство для уменьшения взаимного влияния фильтров. РУ – применяется в основном только при использовании LC фильтров. Для пьезокерамических фильтров РУ не нужно.



f_r – 420; 468; 516; 564; 612 кГц – для основного спектра (нижние БП)
 f_r – (252); (300); (348); (396); (444) кГц – для инверсного спектра (верхние БПФ).

Использование прямых и инверсных спектров или их комбинация нужны для совместной эксплуатации оборудования различных систем для выделения необходимых полос.

Для отечественного оборудования приняты следующие линейные спектры К – 60 $\Delta F=60-1300$ кГц; К – 300 $\Delta F=60-1300$ кГц; К – 120 $\Delta F=812 - 1304$ кГц; К – 1920 $\Delta F=312 - 8524$ кГц; К – 3600 $\Delta F=812 - 17596$ кГц; К – 10800 $\Delta F=4,332 - 59,684$ МГц.

Лекция №7

Системы передачи с временным разделением каналов

I. Принципы построения систем с ВРК.

1. Дискретизация и квантование.

В системах передачи с ВРК используются цифровые сигналы, представляющие собой ту или иную импульсную кодовую последовательность, т.е. это система для передачи цифровых данных.

Напомним, что для преобразования аналогового сигнала в цифровой используются операции ДИСКРЕТИЗАЦИЯ, КВАНТОВАНИЕ, КОДИРОВАНИЕ.

Дискретизация осуществляется на основе теоремы Котельникова. Для сигналов ТЧ с полосой $0,3 - 3,4$ кГц + $0,9$ кГц (защитный интервал), т.е. $f_c = 4$ кГц. Тактовая частота дискретизации $f_m = 2f_c = 8$ кГц. Каждый отсчёт передаётся 8 битами, значит сигнал ТЧ можно передавать со скоростью $f_m \times 8 \text{ бит} = 8 \times 10^3 \times 8 = 64 \text{ кбит/с}$.

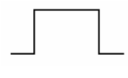
Это и есть скорость передачи одного канала ТЧ.

Отсчёты передаются в виде восьмиразрядных двоичных чисел, получаемых при квантовании отсчётов. Т.к. квантование имеет конечное число уровней, да ещё ограничения по max и min, то очевидно, что квантованный сигнал не является точным. Разница между истинным значением отсчёта и его квантованным значением – это шум квантования. Значение шума квантования зависит от количества уровней квантования, скорости изменения сигнала и от спосрба выбора шага квантования.

2. Мощность шума квантования

Мощность шума квантования можно определить следующим образом.

Пусть плотность распределения мгновенных значений отсчётов $\omega(a)$. При достаточно большом числе уровней квантования M (малый шаг квантования), можно считать, что в пределах i – го

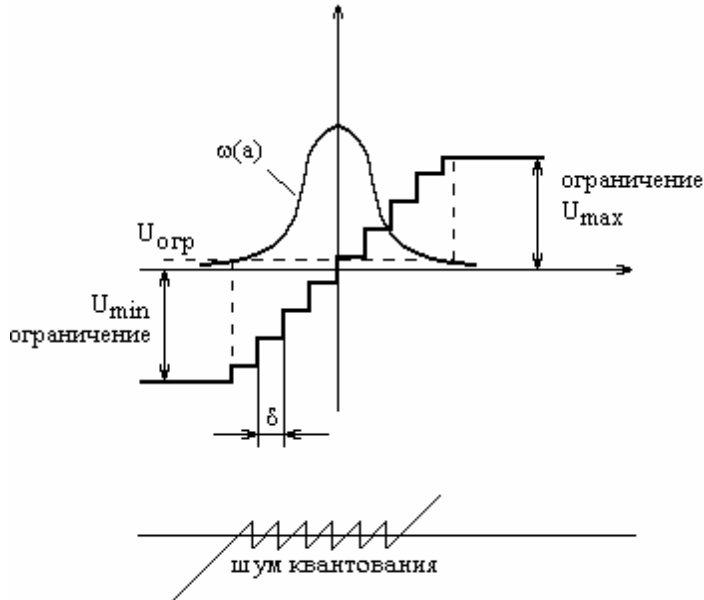
шага $\omega(a)$ равномерна (постоянна), т.е. имеет вид  с шириной δ и высотой $\omega(a_i)$. Тогда для i – го участка дисперсия шума квантования:

$$\sigma_i^2 = \int_{a_i - \delta/2}^{a_i + \delta/2} (a - a_i)^2 \omega(a_i) da = \left\{ \begin{array}{l} \text{т.к. } \omega(a_i) \text{ в пределах шага постоянна, т.е. не} \\ \text{зависит от } a \end{array} \right\} = \omega(a_i) \cdot \int_{-\delta/2}^{\delta/2} \varepsilon^2 d\varepsilon = p_i \frac{\delta^2}{12},$$
 где $p_i = \omega(a_i)\delta$ - вероятность попадания сигнала в i -ю зону квантования.

Суммарная дисперсия для всех M зон:

$$\sigma_{KB}^2 = \sum_{i=1}^M \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^M p_i \frac{\delta_i^2}{12};$$

В простейшем случае при РАВНОМЕРНОМ шаге квантования, когда все шаги δ_i одинаковы, а полная вероятность $\sum p_i = 1$, получим $\sigma_{KB}^2 = \frac{\delta^2}{12}$ - т.е. зависит лишь от шага квантования и не зависит от уровня сигнала.



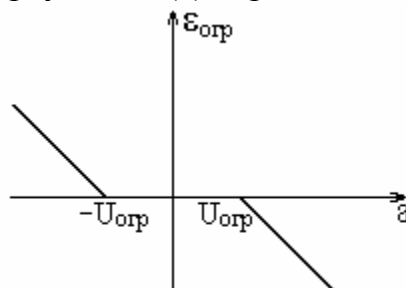
При заданном динамическом диапазоне сигнала величина шага δ однозначно определяет необходимое число уровней квантования M

$$M = \frac{D}{\delta}.$$

3. Средняя мощность шумов ограничения.

Любое квантующее устройство имеет ограничения по амплитуде входного сигнала. При превышении сигналом этого порога значение квантованного сигнала не будет соответствовать реальному сигналу, т.е. будут ошибки.

Плотность распределения мгновенных значений квантуемого сигнала – чётная функция от своего аргумента (a). Средняя мощность шума ограничения:

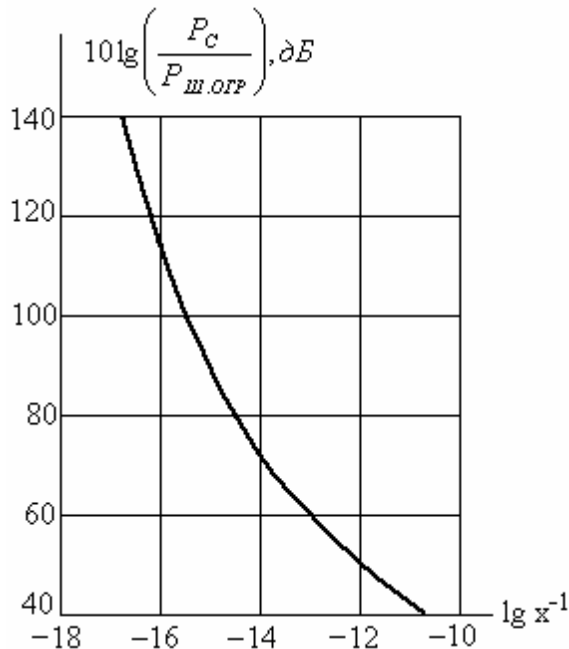


$$P_{ш.огр} = 2 \int_{U_{огр}}^{\infty} (a - U_{огр})^2 \omega(a) da$$

При гауссовом законе распределения мгновенных значений (a) можно получить:

$$(*) P_{ш.огр} = P_c \left[1 + \sqrt{\frac{2x}{\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) - 2\Phi(\sqrt{x}) \right],$$

где $x = \frac{P_{огр}}{P_c} = \frac{U_{огр}^2}{U_0^2}$; $\Phi(\sqrt{x}) = \int_0^{\sqrt{x}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ - интеграл вероятностей (имеются в справочных таблицах); U_0 – действующее значение напряжения сигнала.



Из формулы (*) получен график зависимости $P_c/P_{ш.огр} = f(x)$, приведенный на этом рисунке.

Имеет место сильная зависимость $P_{ш.огр}$ от уровня сигнала, точнее от соотношения $x = P_{огр} / P_c$. Например, уменьшение мощности сигнала вдвое приводит к уменьшению мощности $P_{ш.огр}$ более чем в 4000 раз. Значит в многоканальных СП уровень квантуемых сигналов должен быть мал по сравнению с $U_{огр}$ для всех компонентных каналов. В режиме «молчания» из-за изменения квантующей характеристики (влияние температуры, питания, характеристик элементов) даже небольшие шумы на входе приведут к появлению квантованного сигнала, что тоже будет шумом.

При линейной характеристике квантователя и равномерном шуме динамический диапазон – узкий.

А и μ законы квантования

При равномерном шаге квантования помехозащищённость сигнала от помех будет существенно разной для отсчётов сигнала с малой амплитудой и с большой. Дело в том, что при равномерном шаге квантования шумы квантования будут одинаковыми и для малых, и для больших уровней сигнала. А значит отношение $P_c / P_{ш}$ для малых сигналов может оказаться «плохим». Можно было бы увеличить число уровней квантования, например, более 8 бит на выборку, но тогда придётся увеличивать скорость передачи и возрастает вероятность ошибки (с ростом M).

Помехозащищенность в телефонном канале для обеспечения высокого качества связи должна быть $A_3 = P_c / P_{ш} = 32,5$ дБ. При постоянстве помехозащищенности шаг квантования определяется мгновенными значениями сигнала $\delta_i = u_{вх} \sqrt{12} \cdot 10^{-0,05A_3}$.

Для улучшения ситуации на практике используют методы нелинейного двоичного кодирования (нелинейная кодификация). Эти методы основаны на принципах компандерного расширения динамического диапазона сигнала. Входной сигнал сжимается с помощью *компрессора* до уровня, приемлемого для передачи по данному каналу связи, а на выходе (приёмной стороне) канала сигнал с помощью *эспандера* вновь восстанавливается. При этом слабые сигналы остаются почти без изменения, а сигналы большого уровня «поджимаются». Тем самым быстрота нарастания / убывания сигналов малого и большого уровней как бы сравниваются и тогда число уровней становится почти одинаковым. Наиболее хорошо подходят для компандирования / экспандирования законы типа $\exp(x)$ и $\ln(x)$ соответственно.

Наиболее широко используются стандартизованные законы (для симметричного двухполярного входного сигнала).

A - закон:

$$y = \text{sgn}(x) [z(x) / (1 + \ln A)],$$

где $A = 87,6$; $x = u_{вх} / U_{огр}$; $z = A \cdot |x|$; для $0 \leq x \leq 1/A$
или $z = 1 + \ln |x|$, для $(1/A) \leq x \leq 1$.

Этот закон используется в Европейских системах ИКМ.

Для A – закона минимальный шаг квантования $2 / 4096 = 1 / 2048$, точнее

$$\delta_i \approx \left. \frac{dx}{dy} \right|_{x=x_i} \frac{2}{M}.$$

μ - закон – используется в Американских системах ИКМ (D1 с $\mu = 100$ и D2 с $\mu = 255$).

$$y = \text{sgn}(x) [\ln(1 + \mu|x|) / \ln(1 + \mu)]$$

Для μ - закона минимальный шаг квантования $2 / 8159$.

Иногда эти законы записывают так:

$$U_{ВЫХ} = U_{ОГР} \cdot \text{sgn}(U_{ВХ}) \frac{\ln\left(\frac{\mu|U_{ВХ}|}{U_{ОГР}} + 1\right)}{\ln(1 + \mu)}$$

$$U_{ВЫХ} = \begin{cases} \frac{AU_{ВХ} / U_{ОГР}}{1 + \ln A}, & 0 < |x| < \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln(AU_{ВХ} / U_{ОГР})}{1 + \ln A}, & \frac{1}{A} < |x| < 1 \end{cases}$$

Введение нелинейного квантования позволяет при той же помехозащищённости уменьшить в 1,5 раза число необходимых разрядов

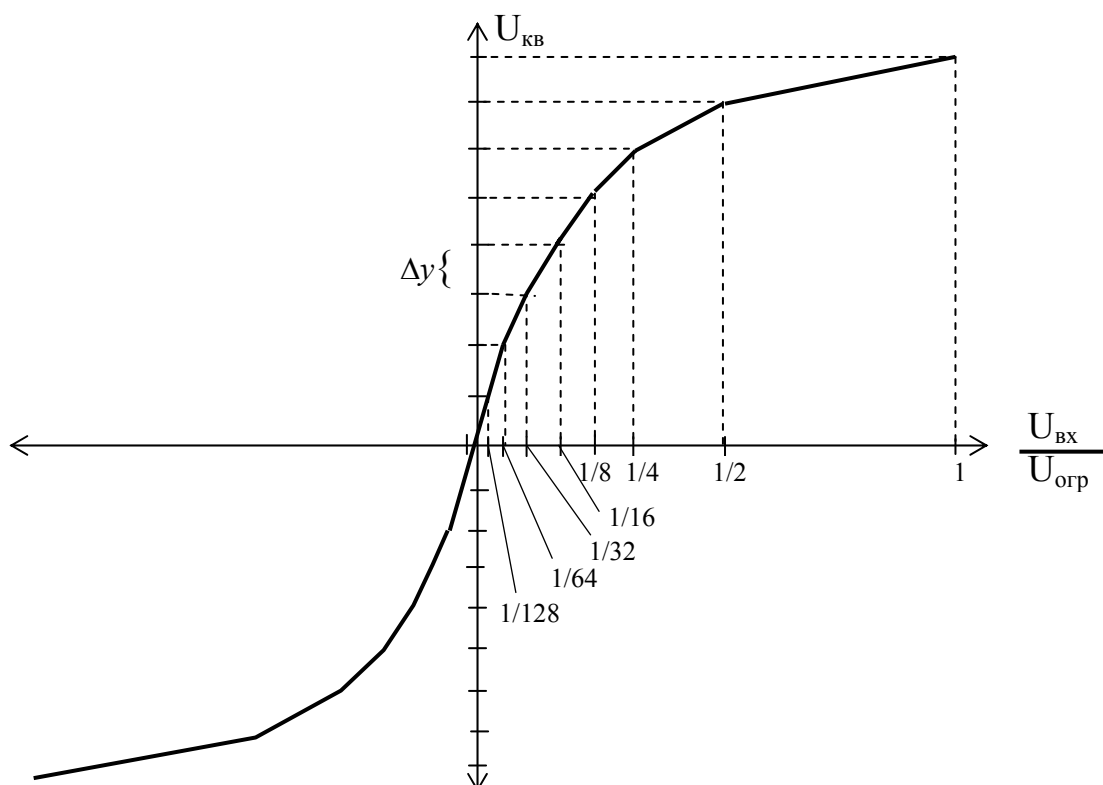
(используют по 8 разрядов) по сравнению с линейным законом, а значит в 1,5 раза снижается полоса необходимых частот.

$$\Delta f_{ИКМ.нел} = 8Nf_{MAX} ; N - \text{число каналов.}$$

Для малых уровней сигнала $|x| < 1/A$ квантование носит равномерный характер с шагом $\delta = \frac{2(1 + \ln A)}{AM}$ и мощность шума постоянна (т.к. шаг равномерный). Для сигналов $|x| > 1/A$ квантование логарифмическое и $P_{ш}$ пропорциональна P_c .

Отметим, что отношение $P_c/P_{ш}$ для A – закона носит более равномерный характер в пределах динамического диапазона сигнала, чем при μ -законе.

На практике характеристики A или μ законов выполнить чисто логарифмически сложно. Поэтому их выполняют в виде линейно – ломаных кривых, составленных из сегментов для положительных и отрицательных значений сигнала. Это существенно упрощает техническую реализацию компрессора и экспандера. Вершины сегментов совпадают с логарифмической кривой, а по вертикали все приращения Δy кривой одинаковы. В μ - законе используют 15 сегментов (8 для положительного сигнала и 8 для отрицательного сигнала). Если первые (от нуля) сегменты для положительного и отрицательного сигнала имеют одинаковый наклон, то они будут как бы одним «длинным» сегментом и тогда получается 15 сегментов. Для A – закона компрессирования по 8 сегментов для положительного и отрицательного сигнала, из которых возле нуля по два сегмента каждой полярности общие. В результате получается 13 сегментов. Если U_{max} сигнала принять за 1, то первый сегмент занимает по оси x $1/128$, следующий $1/64$, затем $1/16$, $1/4$, $1/2$.



Для слабых сигналов выигрыш от компрессирования для μ -закона $20\lg\left[\frac{\mu}{1+\mu}\right] \approx 30\text{дБ}$ ($\mu = 255$), для A – закона $20\lg\left[\frac{A}{1+A}\right] \approx 24\text{дБ}$.

Лекция 8 (продолжение 7)

Характеристики $\mu=225/15$ сегм. и $A=87,6/13$ сегм. стандартизированы и рекомендованы МККТТ (Рекомендация G. 711). В международной связи используется μ -закон. В Европе и России A -закон.

Для упрощения реализации кодера сегментные промежутки, наклон сегментов, внутрисегментные промежутки (кроме 0-1 сегмента) находятся в соотношениях, кратных 2-м. В разных сегментах число уровней квантования различно, но в пределах каждого сегмента - одинаково.

Основные параметры характеристики компрессии по A – закону приведены в таблице:

№ сегмента	Вид кодовой комбинации (P XYZ ABCD)	Относительный интервал изменения входного сигнала	Значение шага квантования относительно $U_{огр}$
0	P 000 ABCD	$0 \div 1/128$	1/2048
1	P 001 ABCD	$1/128 \div 1/64$	1/2048
2	P 010 ABCD	$1/64 \div 1/32$	1/1024
3	P 011 ABCD	$1/32 \div 1/16$	1/512
4	P 100 ABCD	$1/16 \div 1/8$	1/256
5	P 101 ABCD	$1/8 \div 1/4$	1/128
6	P 110 ABCD	$1/4 \div 1/2$	1/64
7	P 111 ABCD	$1/2 \div 1$	1/32

Кодовая комбинация и есть код квантованного сигнала

$P\ XYZ\ ABCD \rightarrow P=1$ – сигнал +

$P=0$ – сигнал –

XYZ - код номера сегмента.

$ABCD$ – цифры обозначающие номер шага квантования внутри сегмента, т. е. натуральный двоичный код номера шага.

Итого на передачу одного отсчёта используется 8 разрядов.

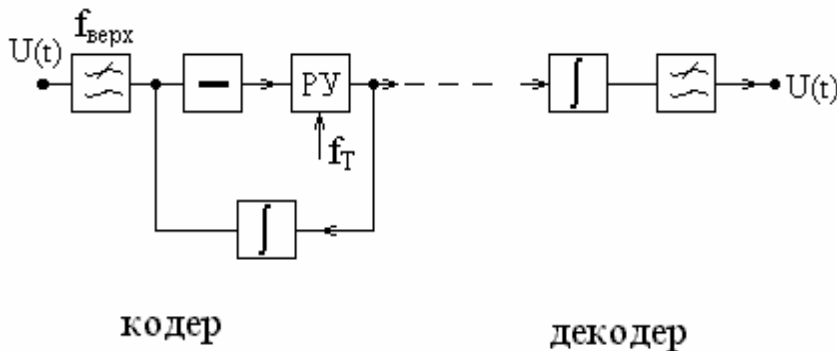
В ЦСП используют и линейное преобразование. Но при этом нужно большее число разрядов. Используют 12 разрядов. Однако, для снижения скорости передачи приходится осуществлять преобразование 12 разрядного кода в 8 – ми разрядный.

Следует отметить, что в процессе кодирования возникают дополнительные погрешности за счет температурных влияний, конечной разрядности и стабильности опорных источников квантователя и т.п. – т.е. инструментальные погрешности, которые могут быть до 50% от общей мощности искажений в ЦСП.

Дельта - модуляция (кодирование с предсказанием) (ДИКМ)

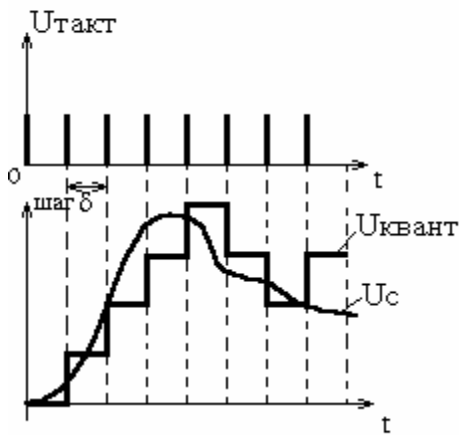
Кроме рассмотренных выше методов передачи цифрового сигнала существуют методы, в которых передаётся не значение отсчёта, а разница между соседними отсчётами дискретного сигнала, т.е. передаётся знак и величина ПРИРАЩЕНИЯ. Эти методы называются ОТНОСИТЕЛЬНЫМИ или ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ.

Наиболее простым является линейная дельта – модуляция (от слова Δ –приращение) с постоянным шагом.



На каждом шаге квантования с тактовой частотой на выходе интегратора вырабатывается ступенчато приращение напряжения со знаком + или -. Выбор знака приращения

определяется разностным сигналом $U_c - U_{кв}$ поступающим с вычитателя на вход решающего устройства (РУ). При линейной дельта модуляции величина приращения по модулю одинакова на каждом шаге, т.е. линейная ДМ – это двухуровневое кодирование +1 и –1 один разряд.



Такой способ модуляции достаточно прост, но его целесообразно применять для сигналов, не имеющих быстрых изменений уровня. При быстром нарастании или убывании сигнала квантованный, ступенчатый сигнал не успевает за изменением сигнала. В результате возникает большая разница $U_p = U_c - U_{кв}$, что приводит к перегрузке РУ, и искажению оцифрованного сигнала. ДИМ с предсказанием ещё называют адаптивной ДИМ.

Для групповых многоканальных сигналов общий сигнал более равномерный – “усреднённый” и в этом случае может быть вполне целесообразным применять линейную дельта – модуляцию.

Для восстановления сигнала $U_c(t)$ на приёмном конце достаточно поставить интегратор и ФНЧ.

В отличие от других видов квантования, когда работа квантователя имеет ограничения по амплитуде входного сигнала ($+U_{огр}$; $-U_{огр}$), т.е. сигнал должен иметь заданный динамический диапазон, в ДИМ ограничение не на амплитуду сигнала, а на его приращение (производную) – это принципиальная разница.

В СП с ДИМ разницу $U_c - U_{кв}$ можно сделать сколь угодно малой, увеличивая число шагов (уменьшая шаг квантования δ). Но это требует повышения тактовой частоты и значит скорости передачи. Несколько спасает положение то, что каждый последующий отсчет корреляционно связан с предыдущим и ошибка для данного отсчёта уменьшается. Вдобавок, спектральная плотность речевого сигнала на верхних частотах имеет относительно малый вклад и ошибка вызванная уменьшением частоты дискретизации меньше влияет. На практике оказалось достаточным иметь $f_T \approx 150-200$ кГц.

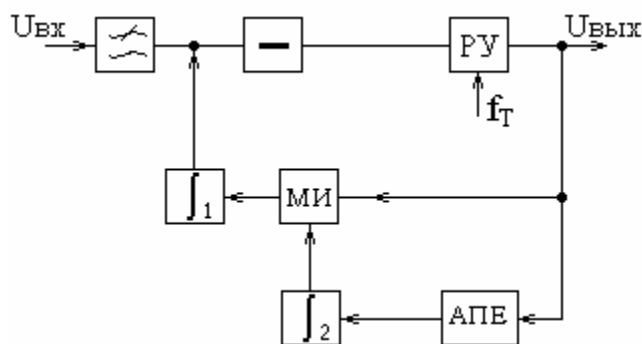
Ещё более существенного уменьшения f_T удаётся достичь в системе ДИМ с предсказанием. В этом случае шаг квантования делают неравномерным. Если скорость изменения сигнала (или огибающей ВЧ сигнала) мала, то квантование можно выполнять реже (увеличить шаг δ) т.к. сигнал почти не изменяется за время шага. Это называют компандированием.

Различают компандирование по огибающей самого сигнала – *инерционное компандирование* и по структуре цифрового сигнала на выходе модулятора – *мгновенное компандирование*. Критерием выбора шага квантования служит производная сигнала.

Инерционное компандирование применяют при передаче речевого сигнала (слоговое компандирование).

Мгновенную ДИМ применяют при передаче сигналов ТВ. Шаг квантования выбирается в соответствии с крутизной передаваемого сигнала. Для этого в цепь обратной связи модулятора и демодулятора вводится схема управления интегратором.

При компандировании по структуре цифрового потока управление шагом квантования производится после анализа структуры уже оцифрованного сигнала.



Сигнал с выхода модулятора подаётся на модулятор импульсов (МИ) и на анализатор плотности единиц (АПЕ), включенных в цепь ОС.

Сигнал с выхода интегратора \int_2 модулирует амплитуду импульсов в МИ и с МИ сигнал поступает на \int_1 , управляя его шагом квантования.

Компандирование по цифровому потоку позволяет более точно согласовывать характеристики передающего и приёмного оборудования при перестройке шага квантования даже при “быстрых” изменениях сигнала (широко-

полосные сигналы). Поэтому этот метод, наряду с методом мгновенного ком- пандирования, применяют при передаче сигналов TV.

Некоторые свойства сигналов с ЧРК и ВРК

Напомним, что в системах с ЧРК аналоговый сигнал модулирует колеба- ния несущих частот. После модуляции с помощью фильтров выделяют из спек- тра АМ сигналов одну боковую полосу (сигналы с ОБП). Каждая боковая поло- са имеет ширину $3,4 \text{ кГц} - 0,3 \text{ кГц} = 3,1 \text{ кГц} + \Delta f_{\text{защитн.}} = 4 \text{ кГц}$. Групповой сигнал занимает ширину спектра частот $Nf_{\text{кан.}}$, где N - число каналов, $f_{\text{кан.}}$ - ширина спек- тра одного канала.

Т.е. по линии связи может передаваться столько каналов ТЧ, сколько мо- жет уместиться боковых полос в общей полосе пропускания линии связи. На практике из-за взаимного влияния проводов в кабеле и из-за необходимости иметь резерв, число используемых каналов процентов на 30% меньше возмож- ного числа.

В системах с ВРК на каналы делится не спектр передаваемых по линии связи частот, а время. При этом каждый канал в момент передачи занимает весь отведённый групповому сигналу спектр частот. Т.к. ширина спектра сигнала обратно пропорциональна длительности импульсного сигнала, то длительность импульсов цифрового сигнала (т.е. скорость передачи) напрямую зависит от ширины частот, передаваемых линией связи.

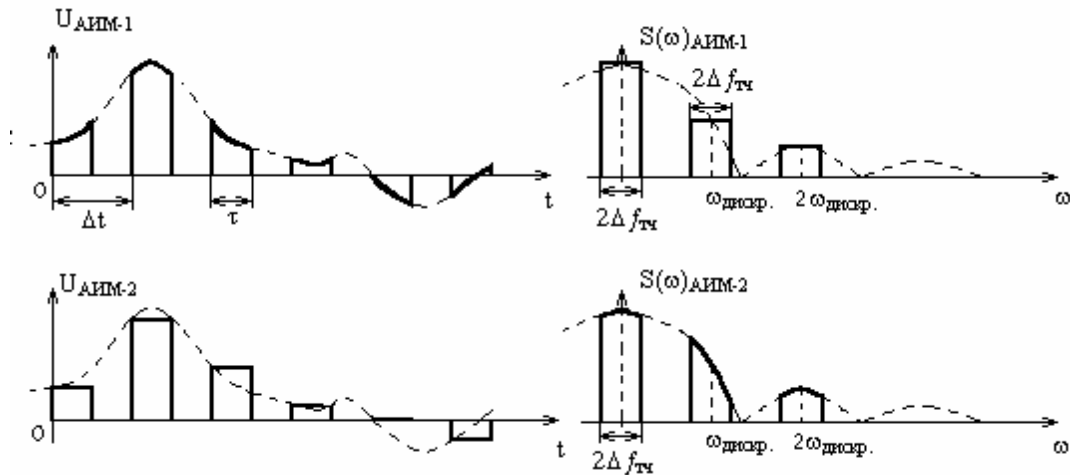
К настоящему времени сложилась ситуация, когда имеется большое (у нас преобладающее) число каналов связи, предназначенных для передачи ана- логовых сигналов с системами ЧРК. В то же время уже имеется значительное число трактов, созданных специально для передачи цифровых сигналов. По- этому часто возникают ситуации, когда на всём протяжении от абонента к або- ненту или на отдельных участках канала связи необходимо передавать аналого- вые сигналы по цифровым каналам и наоборот, цифровые сигналы по аналого- вым трактам.

При передаче группового аналогового сигнала по цифровому каналу, групповой сигнал подвергают дискретизации. Представляет интерес сравнить полосы частот, занимаемых сигналом в системах с ЧРК и ВРК при различных видах модуляции.

Итак, каждый ТЛФ канал имеет полосу $|0,3-3,4| = 3,1 \text{ кГц} +$ защитная по- лоса итого 4 кГц . При амплитудной модуляции в системах с ЧРК с помощью фильтров выделяют после смесителей одну боковую полосу (ОБП) шириной также $\Delta f_{\text{тч}} = 4 \text{ кГц}$, но уже в области несущей частоты. Таким образом N - канальный сигнал в системах с ЧРК ОБП имеет общую ширину спектра $\Delta f_{\text{чрк}} = N \Delta f_{\text{тч}}$.

В системах с ВРК наиболее широко применяют дискретизированные АИМ и цифровые кодированные ИКМ сигналы.

Сигналы с АИМ различают двух родов АИМ-1 и АИМ-2. При дискретизации с помощью импульсов прямоугольной формы различие АИМ-1 и 2 можно видеть из рисунков.



Т.е. мгновенное значение АИМ-1 на верхушках импульсов повторяет мгновенное значение сигнала, а его спектр, напротив, постоянен в области частот ω_d ; $2\omega_d$ и т. д.

Сигнал с АИМ-2 имеет постоянную амплитуду импульсов дискретизации, равную мгновенному значению сигнала в точке отсчёта. А его спектр, напротив, имеет частотную зависимость по закону $\frac{\sin x}{x}$ в области частот $n\omega_d$.

$$S(\omega)_{AИМ-1} = \frac{\tau}{\Delta t} \left[A(\omega) + \sum_{n=1}^{\infty} E_0(n\omega_d) A(\omega \pm n\omega_d) \right]$$

где $A(\omega)$ - спектральная плотность исходного аналогового сигнала.

$E_0(\omega)$ - спектральная плотность импульсов дискретизации.

Полезная часть общего спектра

$$S_{AИМ-1} \approx \frac{\tau}{\Delta t} A(\omega)$$

Для АИМ-2

$$S(\omega)_{AИМ-2} = \frac{\tau}{\Delta t} \cdot \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} \left[A(\omega) + \sum_{n=1}^{\infty} A(\omega \pm n\omega_d) \right] = E_0(\omega) \left[A(\omega) + \sum_{n=1}^{\infty} A(\omega \pm n\omega_d) \right]$$

$$\text{Здесь } E_0(\omega) = \frac{\tau}{\Delta t} \cdot \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} \text{ - зависит от частоты.}$$

Значит, при наличии шумов в канале, сигналы с АИМ-2 будут иметь амплитудно – частотные искажения, а сигналы с АИМ-1 будут подвержены искажениям амплитуды сигнала.

Из рисунков видно, что одним из способов уменьшения амплитудных и амплитудно-частотных искажений является уменьшение длительности τ стро-

бирующих импульсов, что и делается на практике. Тогда разница между АИМ-1 и АИМ-2 делается несущественной. Но при $\tau \rightarrow 0$ уменьшается доля мощности полезной составляющей в спектре сигнала как АИМ-1, так и АИМ-2, что ухудшает помехозащищённость. В реальных СП с ВРК при $\tau \rightarrow 0$ после выделения отсчётов на стороне приёма их удлиняют (растягивают) для увеличения их энергии. Возникающие при этом амплитудные искажения корректируют корректором с коэффициентом передачи

$$K(\omega) = \left(\frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} \right)^{-1}, \text{ где } 0 < |\omega| \leq \omega_{\text{макс ТЧ}}.$$

При дискретизации прямоугольными импульсами спектр дискретного сигнала бесконечен. Теоретически существует сигнал вида $\frac{\sin X}{X}$ имеющий строго ограниченную ширину спектра. На практике формируют взамен прямоугольного сигнала - сигналы подобные $\frac{\sin X}{X}$. Т.к. такой сигнал точно сформировать нельзя, то ширина спектра окажется несколько размытой, но вполне приемлемой для практики. При такой реализации общая ширина спектра группового сигнала

$$\Delta F_{\text{ВРК}} = \frac{1}{2\Delta t_{\text{АИМ}}} = N\Delta f_{\text{ТЧ}} = \Delta F_{\text{ЧРК с ОБП}}$$

При этом и помехозащищённость

$$A_3 = 10 \lg \left(\frac{NP_{\text{кан}}}{NP_{\text{ш}}}} \right)$$

сигналов с ЧРК с ОБП и ВРК с АИМ-1 и АИМ-2 также одинаковы.

Общим для ЧРК и ВРК с АИМ является важный недостаток – накапливание помех в тракте передачи прямо пропорционально протяжённости канала, а это приводит к сильным искажениям аналогового и дискретного сигналов.

Это обстоятельство наиболее просто исправляется в системах с ИКМ, когда дискретные значения сигнала передаются не мгновенными значениями отсчётов, а кодовыми символами, имеющими одинаковые по форме импульсные сигналы. Это позволяет регенераторам полностью восстанавливать кодовую комбинацию в линейных усилителях – регенераторах без необходимости коррекции формы сигнала.

Лекция №9

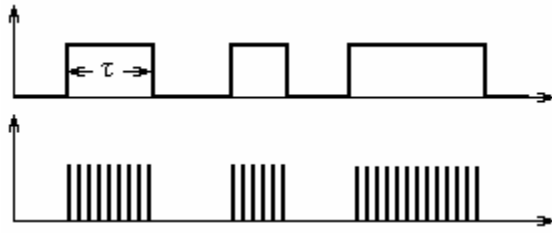
Особенности передачи сигналов данных

Под передачей данных (ПД) понимают область электросвязи, обеспечивающую передачу цифровой информации. Качество передачи при этом оценивается не искажениями формы сигналов, как в аналоговых системах, а числом ошибок в принятой информации, т.е. верностью передачи.

В настоящее время в большинстве случаев, из-за отсутствия специальных цифровых трактов приходится ПД осуществлять через ТЛФ и ТЛГ сети, т.е. с использованием аналоговых устройств и линий связи. Поэтому приходится цифровой сигнал при передаче преобразовывать в аналоговый и наоборот при приеме. Это осуществляется с помощью модемов. Модемы обеспечивают тщательное согласование параметров цифровых сигналов с аналоговыми трактами. В хороших модемах перед началом передачи информации вначале устанавливается связь между модемами, которые автоматически обмениваясь сигналами, подстраиваются под конкретную линию связи и автоматически выбирают необходимую скорость передачи, а затем передают саму информацию. При изменении условий в линии они автоматически могут менять эту скорость. Такие устройства (модемы) достаточно дорогие. И, в общем, ещё не обеспечивают необходимую степень достоверности ПД. Поэтому вводят ещё устройства повышения верности – устройства защиты от ошибок. Эти устройства вносят в последовательность цифровых данных избыточные символы. Это несколько снижает скорость передачи, но позволяет обнаруживать и исправлять ошибки, возникающие в тракте передачи.

Всё существенно упрощается при применении специальных цифровых систем связи, использующих цифровую аппаратуру. В этом случае отпадает необходимость в АЦ и ЦА преобразованиях, значит и не нужны модемы, ибо и на передаче, и на приеме информация используется в цифровом виде. Нужны лишь преобразования в виде кодирования для оптимизации спектра исходного сигнала с полосой пропускаемых частот линией связи. В цифровых системах нет аналоговых промежуточных усилителей, есть только регенераторы. В таких системах можно передавать и сами цифровые исходные сигналы, но они могут быть широкополосными. Целесообразнее бывает передавать стробированные значения цифровых импульсов, т.е. осуществлять цифровую модуляцию стробирующих импульсов, или передавать кодовые послыжки логического «0» исходной информации или логической «1» указывая моменты и направления их взаимного перехода. В этом случае можно, например, передавать не импульс логической «1» (он может быть долгим по длительности), а только короткий код этого состояния и далее ничего не передавать пока не сменится состояние этой «1». А в эти паузы можно передавать другую информацию – т.е. уплотнять.

Эффективность и качество передачи двоичных сигналов по цифровым трактам оценивается следующими показателями:



Скорость модуляции: определяет максимальное число элементов двоичного канала, которое можно передать в течение одной секунды

$$B = \frac{1}{\tau}, \text{ Бод, } \tau - \text{ длительность единичного элемента (100 – 120 Бод)}$$

при манипуляции – скорость манипуляции.

Коэффициент использования пропускной способности цифрового тракта:

$$K_{исп} = \frac{B_{MAX}}{B_{Л}}; B_{MAX} - \text{ скорость модуляции информации}$$

$B_{Л}$ – скорость модуляции в линейном тракте.

Чем ближе к B_{MAX} – тем больше краевых искажений сигнала. Обычно $B_{НОМИН} \approx 0,5 B_{MAX}$ и $< B_{Л}$.

Коэффициент ошибок: отношение числа элементов, принятых с ошибкой (или знаков, блоков) к числу всех переданных элементов. Величина этого коэффициента определяет верность передачи. В современных системах КОШ = 10^{-6} - 10^{-12} .

Коэффициент размножения ошибок: $\alpha = \frac{P_{об}}{P_{Л}}$; $P_{об}$ – вероятность ошибки

двоичного сигнала; $P_{Л}$ – вероятность ошибки для линейного сигнала.

Коэффициент краевых искажений: относительная величина расхождения между моментами переходов «1» и «0» в исходном двоичном сигнале и в сигнале, восстановленном на приёмном конце, т.е. искажения в процессе обработки моментов переходов.

$$\delta_0 = \frac{\Delta\tau}{\tau_{НОМИН}}$$

Способы передачи цифровых сигналов

В принципе возможны следующие способы:

- 1) Чисто цифровые СП. В линии только регенераторы.
- 2) Гибридные: в линии есть и усилители, и регенераторы.
- 3) По аналоговым трактам, в которых цифровой сигнал передаётся вне рабочей полосы АСП с ЧРК. Аналоговые усилители, как правило, достаточно широкополосны для этого.

4) По аналоговым трактам. Часть аналоговых каналов в пределах рабочей полосы линии связи отдаются под цифровой сигнал.

Первый способ – лучший. При втором способе через несколько регенеративных участков устанавливается усилитель, что позволяет увеличить длину усилительных участков. Для цифровых сигналов регенераторы довольно дорогие, а усилители дешевле, т.к. нет жёстких требований к АЧХ (по сравнению с АСП с ЧРК).

Третий способ также используется на практике, но он менее эффективен, т.к. «лишней» полосы частот в линейном тракте мало. Так, при передаче цифрового сигнала по тракту системы К – 2700 вне полосы аналогового сигнала эффективность использования системы повышается лишь на 1%. Важнее то, что по аналоговому тракту можно при необходимости передавать цифровой сигнал.

Четвёртый способ используется только при необходимости передать вместо аналоговых сигналов цифровой. Эффективность использования линии несколько снижается, т.к. цифровой канал требует несколько большей полосы частот, чем аналоговый канал.

Общие сетевые требования к ЦСП.

Ситуация в нашей стране такова, что большая часть линий связи до 2005 года ещё будет аналоговой. Предстоит длительный путь постепенного перехода к цифровым линиям связи. Поэтому и пока будет использоваться разнородная аппаратура для преобразования аналоговых сигналов в цифровую и наоборот, да ещё многократно и с необходимостью усиления и коррекции.

Для того, чтобы в этих условиях обеспечивать заданные характеристики каналов и трактов принципы проектирования АСП и ЦСП должны быть совместимыми, а стыки должны иметь строго оговоренные стандартизованные свойства (интерфейсы).

В АСП есть стандартизованный основной телефонный канал (канал ТЧ). Подобно этому в ЦСП есть основной цифровой канал (ОЦК). В ЦСП есть основное понятие – скорость передачи в бит/с (редко Бод).

Для ОЦК $\Delta f = (0,3 \div 3,4 \text{ кГц}) + \Delta f_{\text{защ}} = 4 \text{ кГц}$. $4 \text{ кГц} \times 2 \times 8 \text{ бит} = 64 \text{ кбит/с}$

Итак, для ОЦК скорость передачи $64 \text{ кбит/с} (1 \pm 50 \cdot 10^{-6})$

При уплотнении каналов:

Субпервичный канал: $480 \cdot (1 \pm 50 \cdot 10^{-6}) \text{ кбит/с}$

Первичный канал: $2048 \cdot (1 \pm 30 \cdot 10^{-6}) \text{ кбит/с}$

Вторичный канал: $8448 \cdot (1 \pm 20 \cdot 10^{-6}) \text{ кбит/с}$

Третичный канал: $34368 \cdot (1 \pm 20 \cdot 10^{-6}) \text{ кбит/с}$

Четверичный канал: $139264 \cdot (1 \pm 15 \cdot 10^{-6}) \text{ кбит/с}$

Для возможностей соединения цифровых каналов и групповых трактов при организации транзитов, ответвлений, переключений и для подключения к какому-либо оборудованию должны обеспечиваться требования к стыкам. Эти требования унифицированы для общепринятых скоростей передачи.

Например, сетевой стык ОЦК предусматривает обмен тремя видами синфазных сигналов: ИНФОРМАЦИОННЫМИ (ИС), ТАКТОВЫМИ (ТС) и ОКТЕТНЫМИ (ОС) (в ОЦК для разделения 8-ми разрядных символов) в соответствующих сочетаниях и для конкретных схем включения. Для других (не ОЦК) сетевых стыков предусматривается обмен лишь ИС и ТС.

В качестве стыковых используют такие виды сигналов:

- относительный биимпульсный сигнал (ОБС) («1» и «0» передаются со сменой состояния в середине тактового интервала. «1» передаётся сменой состояния предыдущего интервала, а «0» без смены состояния.) используется для стыков ОЦК и СЦК (субпервичный ЦК)
- код с высокой плотностью единиц (КВП-3) (HDB-3) – для первичного, вторичного и третичного сетевых стыков
- двухуровневый код с инверсией посылок (СМІ – Coded Mark Inversion) для четвертичного стыка.

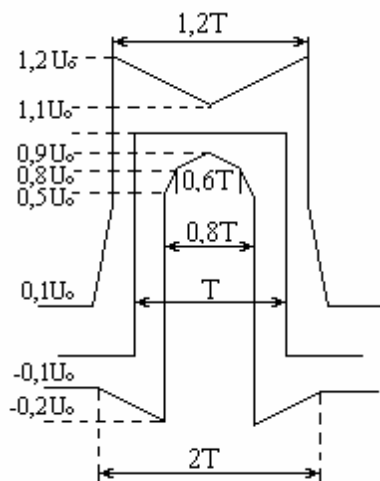
Параметры сетевых стыков должны соответствовать рекомендациям МККТТ.

цифровой тракт	Скорость передачи относительно нестаб. кбит/с	номинальное сопротивление, Ом	Амплит. имп. В	$t_{\text{имп}}$, нс	код	Затухание линии, дБ
Первичн.	2048· (1±30·10 ⁻⁶)	120-симм	±3	244	ЧПИ	0÷6
Вторичн.	8448· (1±20·10 ⁻⁶)	75-коакс	±2,37	59	ЧПИ или КВП-2	0÷6
Третичн.	34368· (1±20·10 ⁻⁶)	75-коакс	±1	14,55	КВП-3 или КВП-2	0÷12
четвертичн	139264· (1±15·10 ⁻⁶)	75-несимм	1	7,18 или 3,59	СМІ	0÷12

Значения затуханий в соединительных линиях определяются на полутаковой частоте $\alpha \sim \sqrt{f}$.

Рекомендации МККТТ существуют только для первичных, вторичных и третичных групповых трактов. Четвертичная не регламентируется.

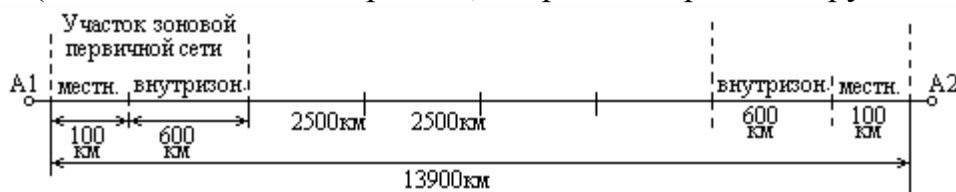
Форма номинальных импульсов в стыках – прямоугольная. На форму импульсов по рекомендации МККТТ существует шаблон.



Для формирования параметров цифровых сигналов и трактов используют номинальные цепи – цепи определенной длины с определённым количеством оконечного и промежуточного оборудования. Максимальное число транзитов оговаривается только в линиях с АЦП и ЦАП преобразованиями. В чисто цифровых линиях ухудшения сигнала нет, и поэтому число транзитов не оговаривается. Номинальные цепи основного канала ТЧ и ОЦК должны быть одинаковыми.

Максимальная протяжённость ОЦК – 13900 км при 10 транзитах (4 – на магистральной сети; 2 – на внутризонной; 4 – на местной сети).

Максимальное число транзитов групповых трактов в магистральной сети ≤ 49 (но не более 15 на первичн., вторичн. и третичн. групповых трактах).



Международное соединение может быть длиной до 27500 км.

При проектировании цифровых трактов обычно стремятся обеспечить $P_{\text{ош}} = 10^{-6}$. При протяжённых трактах, например, международных (длиной до 27500 км) на различных участках требования к $P_{\text{ош}}$ разные, чтобы в целом обеспечить не хуже 10^{-6} . Для национальных участков принимают $P_{\text{ош}} = 0,4 \cdot 10^{-6}$ и равномерно распределяют эту норму по участкам цепи. При этом $P_{\text{магистр}} = P_{\text{вн.зон.}} = P_{\text{местн}} = P_{\text{абон}} = 10^{-7}$. Тогда нормированные значения вероятности ошибок в расчёте на 1 км линии будет $P_{\text{маг.1}} = 10^{-7} / 10000 = 10^{-11}$; $P_{\text{вз.1}} = 10^{-7} / 600 = 1,07 \cdot 10^{-10}$; $P_{\text{м.1}} = 10^{-7} / 100 = 10^{-9}$. Исходя из этих величин нормированных вероятностей ошибок на 1 км, предъявляются требования к линейным регенераторам на участках цепи. (Рекомендация МККТТ G.821). Эта рекомендация довольно сложным образом регламентирует процесс измерений качества каналов связи. На практике чаще всего пользуются величиной КОШ (BER).

В нашей стране по качеству разделяют участки высшего класса (магистральные, 40% ошибок), среднего класса (внутризоновые, 20% ошибок), низшего класса (местн.(7,5%) и абонент.(7,5%)).

Международная градация по рек. G.821 МККТТ

А – низш.; Б – средн.; В – высш..

$P_{\text{ош}}$	Среднее время между двумя ошибками
10^{-2}	0,012 с
10^{-4}	1,2 с
10^{-6}	2 мин
10^{-8}	3 часа
10^{-10}	14 дней
10^{-12}	4 года

Лекция 10

ИЕРАРХИЯ ЦИФРОВЫХ СП

Цифровые СП соответствуют определенной иерархической структуре, в которой учитываются следующие основные требования:

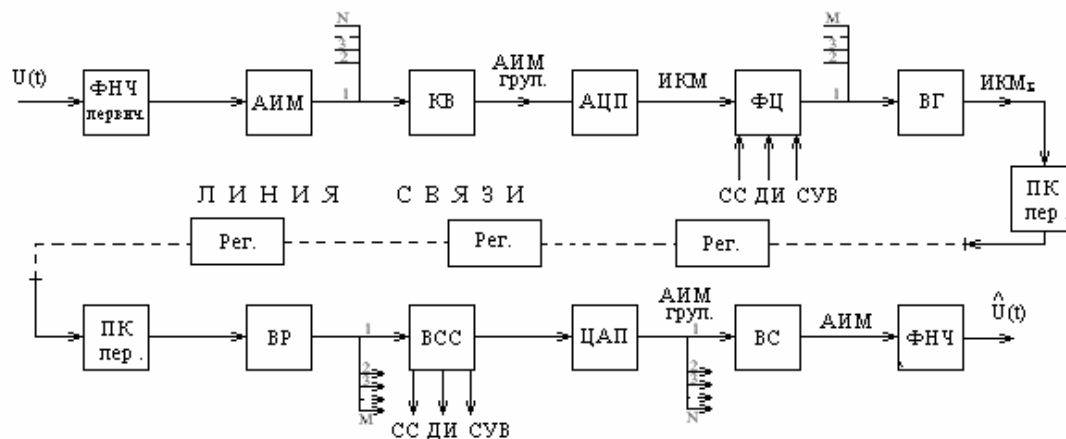
1. Возможность передачи всех видов аналоговых и дискретных сигналов;
2. Возможность объединения, разъединения и транзита передаваемых сигналов,
3. Выбор стандартизованных скоростей передачи с учетом существующего и перспективного оборудования;
4. Возможность взаимодействия с АСП и с различными иными системами связи и коммутации

Это позволяет унифицировать каналобразующее оборудование различных стран и различных производителей.

Лекция №11

Обобщённая структурная схема ЦСП

В системах ЦСП неважно какой вид имеет первичный сигнал. Всё равно его преобразуют в цифровой.



Исходный (первичный) сигнал ограничивается по спектру ФНЧ, затем подвергается дискретизации (АИМ). Объединив N -первичных дискретизированных их подвергают квантованию (КВ) и далее преобразуют в цифровой кодированный сигнал (АЦП). С выхода АЦП получаемый ИКМ сигнал объединяется с необходимыми сигналами сигнализации, сигналами синхронизации (СС), дискретной информации (ДИ) и сигналами управления и взаимодействия (СУВ). В результате объединения их в формирователе цикла (ФЦ) образуется цикл передачи определённой структуры.

Если используются высокоскоростные системы передачи, то полученные цикловые сигналы могут объединяться с подобными же от других каналов, тем самым осуществляется временное группообразование (ВГ) – мультиплексирование. Здесь циклические последовательности от каждого канала выстраиваются в определённом порядке. При мультиплексировании объединяются M относительно низкоскоростных потоков в один, в котором за то же время нужно передать в M раз больше символов. Значит общий групповой поток будет более скоростным. Мультиплексор должен осуществлять согласование скоростей объединяемых потоков, а они могут быть не совсем одинаковыми, т.к. получены от разных источников, аппаратуры, линии связи. Из-за неполного согласования низкоскоростных составляющих возникают их сдвиги во времени относительно друг друга, что приводит к фазовому дрожанию цифрового сигнала и даже возможна ситуация потери моментов начала каждого цикла, т.е. потеря синхронизации. Поэтому вопросам синхронизации в ЦСП уделяют особое внимание.

Последним звеном на передающей стороне служит устройство преобразователь кода (ПК), преобразующее ИКМ сигнал в кодовую комбинацию, наиболее оптимальную для данного вида линии связи. В промежуточных пунктах цифрового линейного тракта осуществляется регенерация (Рег) цифрового сигнала.

На приёме ПК производит обратное преобразование линейного кода в двоичный групповой сигнал. Устройство временного разделения (ВР) – демультиплексор разделяет высокоскоростной поток на низкоскоростные компоненты из которых в блоке выделения служебных сигналов (ВСС) выделяются сигналы синхронизации, управления и взаимодействия. Из АИМ гр после ЦАП с помощью временного селектора (ВС) выделяются индивидуальные канальные сигналы АИМ. Сам сигнал восстанавливаются из АИМ с помощью ФНЧ.

Рассмотрим принципиальные трудности, приводящие к ухудшению качества передачи и появлению ошибок.

За счёт взаимной несинхронизированности исходных низкоскоростных ИКМ сигналов не бывает стабильным их взаимное временное положение, что, как уже говорилось выше, приводит к фазовым искажениям (дрожанию-джиттеру сигнала). Для выравнивания скоростей поступающих компонентных сигналов (в виде циклового фрагмента), в мультиплексоре используют буфера-регистры.

В линейном тракте качество передачи и ошибки могут появиться как за счёт искажения формы сигнала в линии, так и за счёт различных наводок. При этом могут возникать ошибочные символы, приводящие к появлению ошибочного “0” или “1” в цикле, что может изменить всю временную структуру группового сигнала. Частота появления ошибочных символов в линейном тракте с регенераторами обычно не велика, но имеется всегда. Эти искажения появляются на слух в виде щелчков, а в цифровой аппаратуре (например, в компьютере) приводит к ошибкам в информации.

Передающая сторона передаёт биты с определённой тактовой частотой. Для выделения этой частоты на приёмной стороне и на регенераторах в каждом цикле есть определённые (по месту во времени) слоты синхронизации. Но аппаратная нестабильность и нестабильность (например, температурная) физических линий связи, приводят также к джиттеру сигналов синхронизации. Из-за этого тактовая частота на приёмной стороне несколько отличается от передаваемой, что тоже приводит к искажению восстанавливаемого сигнала.

На приёме при обратном преобразовании линейного кодового сигнала в ИКМ сигнал любая ошибка позволяет размножение их в ИКМ сигнале с коэффициентом $\alpha = \frac{P_{\text{двоичн.}}}{P_{\text{лин.сигн.}}}$, где P - вероятности.

В процессе временного разделения (ВР) – демультиплексирования в случае ошибочного приёма команд согласования скоростей цикловых фрагментов (компонентных сигналов) может произойти потеря синхронизации,

что приведёт к невозможности расставить компонентные сигналы во времени по своим местам, т.е. произойдёт нарушение связи по всем каналам компонентных потоков. Для устранения этого явления разработаны специальные кодовые комбинации и специальные устройства отслеживания синхронизации, которые при потере синхронизации за минимально возможное время (обычно это мс) восстанавливают синхронизацию. Но всё равно происходит сбой и ошибки. Сигналы синхронизации и управления выделяются блоком ВСС.

В ЦАП возникают свои искажения-формы сигнала.

Возникновение ошибок и искажений в ЦСП можно разделить на два больших класса:

1. Искажения, возникающие в оконечной аппаратуре в процессе дискретизации, квантования, кодирования и согласования скоростей.
2. Искажения, появляющиеся в линейном тракте в процессе регенерации (случайные ошибки, джиттер).

Лекция №12

Формирование структуры цикла передачи ЦСП

В процессе группообразования информации от каждого низкоскоростного канала поочерёдно встраиваются по оси времени в общий высокоскоростной поток, т.е. происходит поочерёдная циклическая передача состояния информационных символов от каждого канала. Структура каждого цикла (ФРЕЙМА) строго определена. Длительность цикла 125 мкс (соответствует частоте дискретизации 8 кГц). Весь цикл разбивается на определённое число канальных интервалов – таймслотов. Для каждого из N объединяемых каналов выделяется канальный интервал КИ (таймслот), в котором будет передаваться кодовая группа состояния данного канала на момент передачи. Дополнительно к информационным канальным сигналам в цикл вводятся символы синхронизации, команды согласования; а также сигналы контроля и управления – так называемые СЛУЖЕБНЫЕ сигналы. Причём служебные сигналы вводятся как общие для всех каналов (синхронизация, телеконтроль, команды согласования), так и при необходимости для каждого канала. Из-за необходимости введения дополнительных, но НЕОБХОДИМЫХ символов в циклы, возрастает скорость передачи в кб/с за время цикла по сравнению с простой суммой информационных скоростей каналов. Например, 30 каналов по 64 кб/с имеют скорость

$$30 \times 64 = 1920 \text{ кб/с.}$$

На эти 30 каналов необходимо за это же время передать дополнительных символов ещё на два канала $2 \times 64 = 128$ кб/с. Итого в ИКМ-30 получается скорость потока $1920 + 128 = 2048$ кб/с, что и составляет скорость первичного группообразования. Т.е. в ИКМ-30 передаётся 30 информационных и 2 дополнительных канальных интервалов.

Чем выше по иерархии ступень мультиплексирования, тем больше надо дополнительных позиций во фрейме, поэтому скорость передачи групповых сигналов не является простой суммой канальных 64 кб/с скоростей. Итак, в цикле (фрейме) должны быть позиции для сигналов синхронизации, информационных, для передачи сигналов управления, контроля и возможно других дополнительных сигналов. Эти обычно полезные сигналы могут быть распределены или побитно, или покодowo. При распределении этих позиций по фрейму руководствуются следующими соображениями:

1. Символы синхронизации должны быть хорошо различимыми, и должны обеспечивать минимальное время

их поиска в случае потери синхронизма. Обычно их формируют в виде сосредоточенной группы сигналов в определённой позиции (слоте) фрейма (цикла).

2. Распределение команд согласования скоростей, управления и т.п. (т.е. сигналов управления и взаимодействия СУВ) должно быть таким, чтобы обеспечивалась их максимальная помехоустойчивость. Их часто равномерно распределяют по циклу, чтобы случайно не получить ложные сигналы от сосредоточенной помехи, но могут их передавать и в виде группы в определённом слоте (канальном интервале).
3. Длительность цикла должна быть минимальной, чтобы обеспечить минимум времени на восстановление синхронизма в случае его потери.
4. Структура цикла должна позволять работать системе как в асинхронном, так и в синхронном режиме.

Исходя из этого очевидно, что дополнительных позиций (относительно числа информационных) должно быть малым, т.е. любые дополнительные сигналы необходимо передавать как можно меньшим числом разрядов (бит) и как можно меньше занимать слотов.

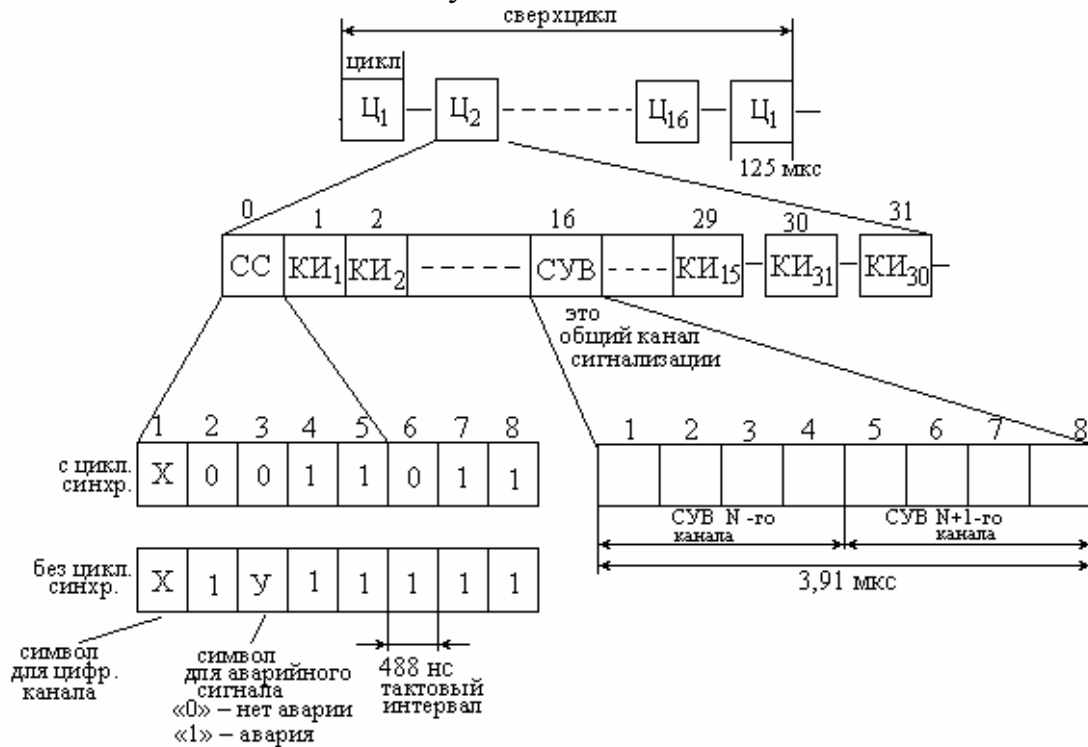
Сигналы управления и взаимодействия для каждого из N каналов могут передаваться реже чем информационные сигналы. Например, в каждом цикле передавать СУВ только поочерёдно для одного канала, или поочерёдно в одном цикле для двух каналов сразу. Значит, надо или N циклов или $N/2$ циклов для того, чтобы передать СУВ для всех каналов. Такая группа циклов образует СВЕРХЦИКЛ (мультифрейм). В первом цикле СВЕРХЦИКЛА обычно передаётся сигнал СВЕРХЦИКЛОВОЙ синхронизации вместо сигналов СУВ, а СУВ не передаётся. Поэтому в сверхцикле на один цикл больше, чем N или $N/2$. Такая организация циклов в сверхциклы необходима для организации СУВ всех каналов и правильного распределения этих сигналов на приёме. В различных практических случаях может быть реализован несколько различающийся способ размещения информационных, управляющих и служебных сигналов.

Рассмотрим, например, структуру цикла, применяемую в отечественной аппаратуре ИКМ-30. В этой системе цикл, длительностью 125 мкс делится на 32 одинаковых канальных интервала (слота). Для передачи информации используют 8-разрядный код при частоте дискретизации 8 кГц. В каждом цикле передаются СУВ сразу для двух каналов ($N/2$). Т.к. ИКМ-30 мультиплексирует 30 телефонных каналов, то сверхцикл будет $N/2 + 1 = 16$ циклов. В каждом цикле первый слот отводится для сигналов

цикловой синхронизации, а 16-й слот – для передачи сигналов СУВ (сигналы управления, аварийные сигналы, служебные и т.п.) и 30 каналов на передачу информации. Итого 32 КИ в каждом цикле. Нетрудно подсчитать скорость передачи в системе ИКМ-30 в бит/с.

$$8_{\text{кГц дискр}} \times 8_{\text{разр}} \times 32_{\text{КИ}} = 2048 \text{ кбит/с} - \text{ скорость первичного}$$

уплотнения.



СС циклов. 0011011

отсутств. СС цикл. 1у11111

СС сверхцикл. 0000 – вместо СУВ одного канала.

Структура сигналов синхронизации и количество разрядов (позиций) в СС имеют существенное значение для времени удержания системы ПРД-ПРМ в состоянии синхронизма и времени восстановления синхронизма после потери его. Кодовая группа СС должна отличаться от кодовых групп других КИ. Эта отличимость разная для различных скоростей передачи и различного количества разрядов в КИ. Наиболее удачные кодовые группы для СС удаётся получить на основе понятия критических точек. Критическая точка – это точки повторяемости одинаковых чередований логического «0» и «1». Например, если кодовая группа имеет «d» символов, то:

группа $\underbrace{0111\dots1}_{d} | 0111\dots1 |$ имеет одну критическую точку. Последняя «1»

перед новым «0».

группа $\underbrace{111\dots1}_{d}$ - имеет «d» критических точек.

группа 0101...01 – имеет b/2 критических точек.

группа 0011011 – одна.

Если во всём цикле примерно <500 тактовых интервалов (позиций), то выгоднее применять коды СС с малым количеством критических точек. При большом количестве ТИ в цикле выгоднее с большим числом критических точек (вплоть до «d» штук). При этом поиск синхросигнала ведётся от цикла к циклу, поэтому при потере СС их ищут в течении нескольких циклов (от 1 до 100 в зависимости от кода СС и количества ТИ в цикле). За это время может неправильно считываться информация.

Слежение за выходом из синхронизма или входе в синхронизм осуществляется с помощью специальных буферных устройств при несовпадении принятых СС с хранящейся правильной записью принимается решение о потере синхронизма. Но какое-то время пока не разбегутся тактовые частоты принимаемого сигнала и сигналов приёмного устройства. Например, в ИКМ-30 среднее время восстановления СС 2 мс, в ИКМ-120 – 0.75 мс, ИКМ-480 – 0.15 мс. Если вхождение в синхронизм происходит недопустимо долго, то нарушается правильное считывание информации по каналам. Говорят, происходит размножение ошибок вплоть до полного нарушения приёма по всем каналам. Это один из важнейших недостатков асинхронного объединения каналов. При наличии сверхциклов вначале ищутся СС цикла, а затем сверхцикловые СС. В многоступенчатой иерархии восстановление синхронизма происходит от низших ступеней к высшим.

Лекция 13

Система передачи ИКМ – 30

Система ИКМ – 30 позволяет по параметрам НЧ кабелей с бумажной и полиэтиленовой изоляцией, организовывать передачу 30 каналов ТЧ по одному – или двухкабельному варианту.

При однокабельном варианте часть пар выделяется для передачи, другая часть для приема. Но из – за переходного влияния удается использовать не более 1/3 всех кабельных пар, что экономически невыгодно. При двухкабельном варианте можно задействовать почти все пары.

В системе ИКМ – 30 для каждого канала ТЧ организуются по два специально выделенных канала СК₁ и СК₂ для передачи сигналов взаимодействия и управления (с УВ сигналы). В системе предусмотрена возможность (при необходимости) организации канала звукового вещания второго класса вместо 4-х каналов ТЧ и плюс восьми каналов передачи дискретной информации со скоростью 8 кбит/с вместо одного ТЧ канала. Причем 9-й канал передачи ДИ постоянно присутствует непосредственно в групповом тракте.

<i>Тип кабеля</i>	<i>L₁ – между регенераторами км</i>	<i>L₂ – между обслуживаемыми речевыми пунктами, км</i>	<i>L – между оконечными пунктами, км</i>
<i>T – 0,5</i>	<i>0,35 – 1,5</i>	<i>25</i>	<i>50</i>
<i>T – 0,6</i>	<i>0,52 – 2,3</i>	<i>36</i>	<i>72</i>
<i>T – 0,7</i>	<i>0,59 – 2,6</i>	<i>41</i>	<i>82</i>
<i>ТПП – 0,5</i>	<i>0,47 – 2,0</i>	<i>28</i>	<i>56</i>
<i>ТПП – 0,7</i>	<i>0,62 – 2,7</i>	<i>43</i>	<i>86</i>

В аналого – цифровом оборудовании (АЦО-11) осуществляется амплитудно – импульсная модуляция АИМ каждого аналогового канала ТЧ. После этого они объединяются в групповой АИМ сигнал. Групповой АИМ сигнал кодируется с нелинейным квантованием по А – закону ($A = 86,7/13$) восьмиразрядным кодом. Объединяя эти кодовые группы с сигналами СУВ и служебными сигналами получают стандартный первичный цифровой поток со скоростью 2048 кбит/с.

Оборудование линейного тракта (ОЛТ) формирует линейный сигнал с кодом ЧПИ (код с чередованием полярности импульсов) АМІ. Циклы и сверхциклы ИКМ – 30 мы уже рассматривали ранее.

В настоящее время выпускается система ИКМ–30–4 четвертого поколения с сервисным оборудованием мирового уровня. Системы ИКМ–30-4 и ИКМ-30 полностью совместимы.

Основные особенности ИКМ-30-4:

1. Сигналы СУВ объединяются в оборудовании согласования межстанционных линий АТС в общий канал сигнализации (ОКС). Этот канал сигнализации имеет стандартный стык обычного канала скорости 64 Кбит/с.

2. Улучшен КПД регенераторов, что позволило почти вдвое увеличить секцию ДП питания и дальность связи в целом. Так для кабелей Т-0,5 вместо $L_2 = 25$ км и $L = 50$ км дальность стала $L_2 = 40$ км и $L = 80$.

3. При двухкабельном варианте работы на 10 – парном кабеле (например, типа ТПП –0,7) в ИКМ-30-4 на 44% увеличивается длина регенерационного участка (с $L_1 = 2,7$ км до $L_1 = 3,8$ км).

4. В ИКМ-30-4 имеется унифицированное сервисное оборудование для контроля и управления – центр управления. Дополнительное сервисное оборудование позволяет организовать низкочастотную служебную связь в двух направлениях, межстанционную служебную связь и связь по цифровому каналу со скоростью 32 кбит/с. Причем, последний может быть использован и для передачи сигналов данных – дискретной информации. Функции сервисного

оборудования могут быть переданы командой оператора на ЭВМ центра технического обслуживания (ЦТО) АТС.

Имеется также система ИКМ-30с для организации связи по однокабельному варианту на кабелях типа КСПП – 1×4×1,2 или КСПП – 1×4×0,9. Эта система позволяет также иметь выделенный общий канал сигнализации ОКС со скоростью 64 кбит/с и имеется возможность производить выделение части каналов и разделение группового потока на отдельные цифровые каналы по 64 кбит/с каждый. Для этого в системе ИКМ-30с используется так называемая *станция разветвления (СР)*. В одной системе возможно осуществить связь одной *центральной станции (ЦС)* с не более 7-ю *оконечными станциями (ОС)* с помощью трех СР по схеме «квадрат» или «треугольник».

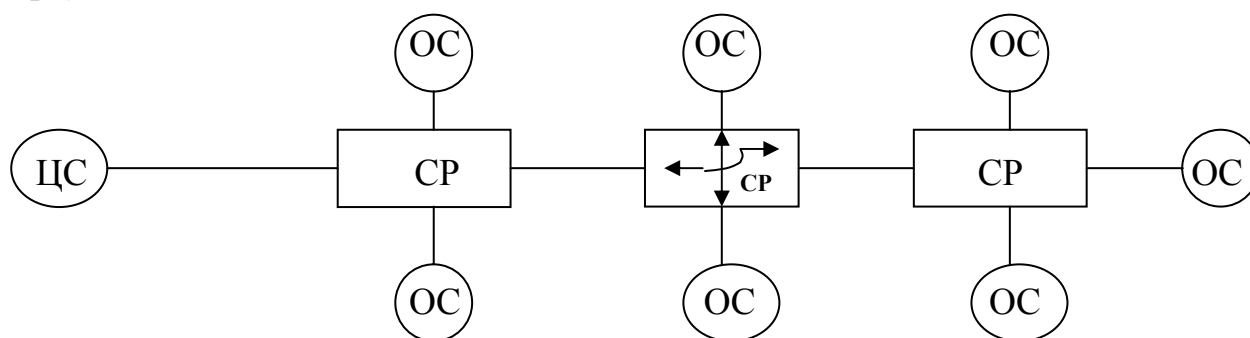


Схема «квадрат»

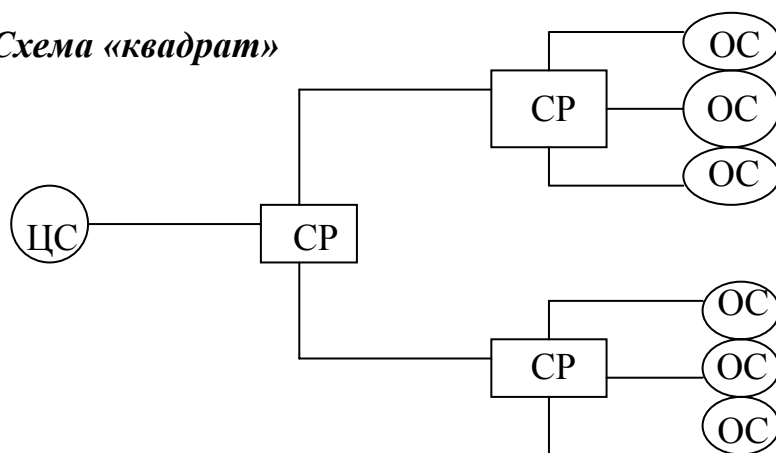


Схема «треугольник»

Каждая станция ЦС; РС; ОС может быть питающей. Расстояние между станциями может достигать 90 км. (при диаметре жил 0,9 мм) и 110 км (при диаметре жил 1,2 мм). Число НРП между ними не более 28.

Система ИКМ-30с совместима с ИКМ-30 и ИКМ-30-4. Т.к. у них одинаковы параметры стыков и одинаков линейный код ЧПИ (АМІ).

Субпервичные системы.

Это системы ИКМ-15 и ЗОНА-15 для сельских АТС (ЗОНА-15 частично состоит из блоков ИКМ-15).

ИКМ-15 передает 15 каналов ТЧ + 4 канала передачи данных со скоростью 100 бит/с или 2 канала ПДИ по 200 бит/с. Групповой сигнал ИКМ-15 передается со скоростью 1024 кбит/с, т.е. $\frac{1}{2}$ от 2048 кбит/с. Значит, объединяя потоки от 2-х ИКМ-15 можно получить стандартный поток Е1, что обеспечивает совместимость с другим оборудованием Европейского стандарта.

Продолжение ИКМ-1920.

Линейный сигнал ИКМ-1920 разделяется на циклы с частотой 64 кГц, т.е. $T_{ц} = 15,625$ мкс. Цикл подразделяется на 4 субцикла. Общее число канальных интервалов (позиций) $4 \text{ субцикла} \cdot 544 = 2176$ позиций.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	543	544
Цифровой синхросигнал										Служ. Связь	Контроль и сигнализация	Информация				

Субцикл 1-й

$$T_{сбц} = T_{ц}/4 = 3,906 \text{ мкс}$$

1	2	3	4	5	6	...									543	544
Первые символы КСС					Информация											

Субцикл 2-й

$$T_{сбц} = 3,906 \text{ мкс}$$

1	2	3	4	5	6	...									543	544
Вторые символы КСС					Информация											

Субцикл 3-й

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...	543	544	
Третьи символы КСС				Дополнительная информация при отрицательном СС				Вставки при положительной СС				Информация					

Субцикл 4-й

Совокупность субциклов образуют ЦИКЛ

Информационных 2144 позиций, т.е. 1920 каналов ТЧ по стандарту + дополнительные каналы.

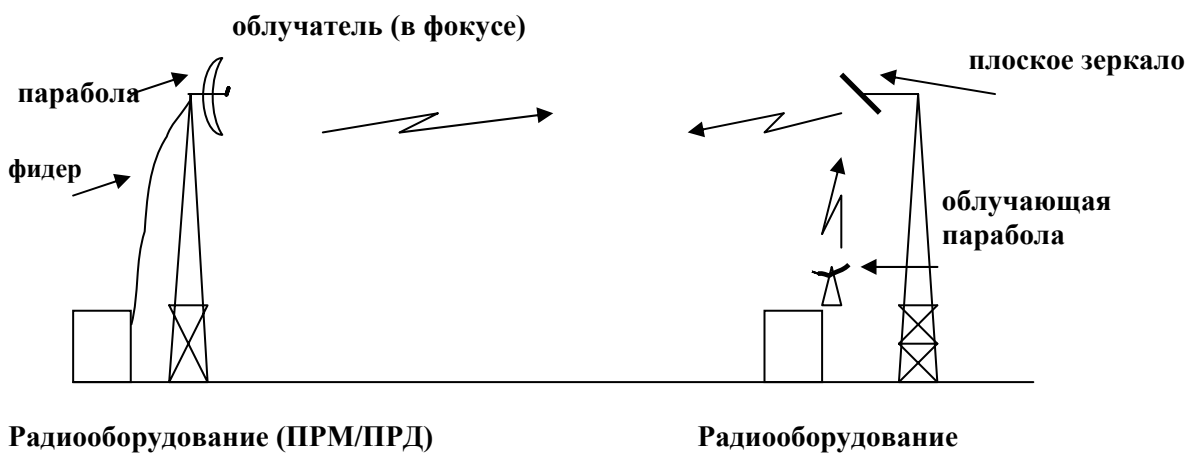
Сравнение ИКМ-1920 с аналоговыми системами К-1920; К-3600 и К-5400 показывает, что системы с ЧРК при тех же длинах регенерационных участков $L_1 = 3$ км позволяют передавать в 2-3 раза большее число ТЛФ каналов. (В силу того, что ТЛФ канал 3,1 кГц, а цифровой 64 кбит/с – 64 кГц). Для повышения пропускной способности цифровых систем передачи были разработаны улучшенные методы объединения потоков и создана система ИКМ-1920×2, которая по тем же линиям может передавать в два раза большее число каналов ТЧ. Т.к. скорость передачи остается той же 139 264 кбит/с, по 139 264 кбит/с каждая, то для каждой четвертичной группы нужно было снизить скорость передачи вдвое. Этого достигли применением специального ***дуобинарного кода***.

Лекция 14

Радиорелейные системы передачи.

Радиорелейная система устанавливается либо как резервная к кабельной системе и работает параллельно с ней, либо радиорелейные линии прокладываются в местах, труднодоступных для прокладки кабельных линий со всеми линейными сооружениями (горы, водные и прочие преграды). Для многоканальных систем, занимающих широкий спектр частот, необходимо использовать высокочастотные несущие колебания, обычно в области единиц – десятков ГГц. На такой частоте сигнал распространяется лишь в пределах прямой видимости. Радиоволны столь высокой частоты практически не могут огибать препятствия. На частотах десятки - сотни МГц радиоволны еще могут огибать препятствия, соизмеримые с единицами длины волны, поэтому на таких частотах можно еще иметь связь и за холмом, вне прямой видимости, а на ГГц – только в прямой видимости.

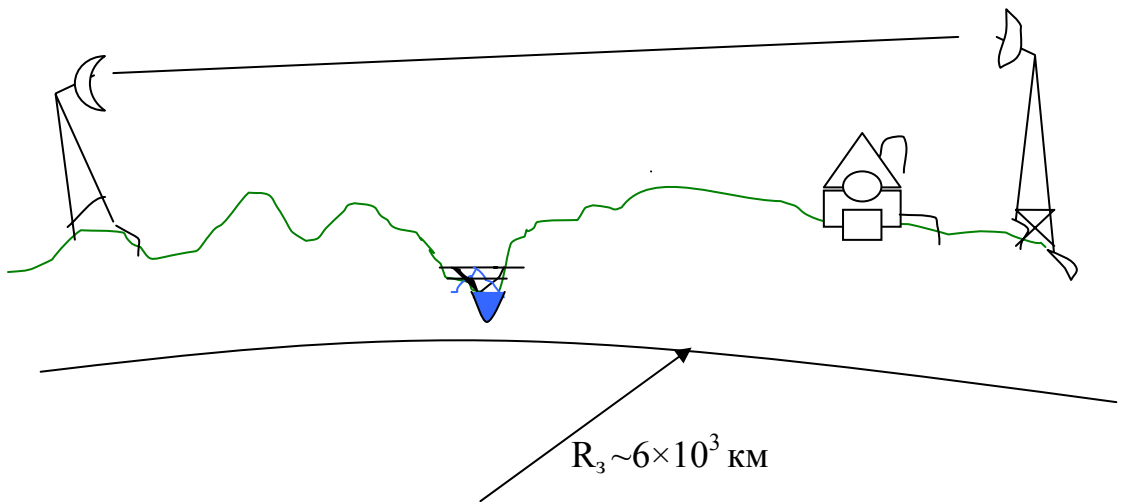
В радиорелейных системах вместо кабелей используется радиолуч, сфокусированный антеннами (передающей и приемной) в узкий пучок радиоволн. Чаще всего для этого используются параболические антенны или антенны с плоскими отражателями (зеркалами) на которые луч фокусируют от параболической антенны. Антенны устанавливают на мачтах.



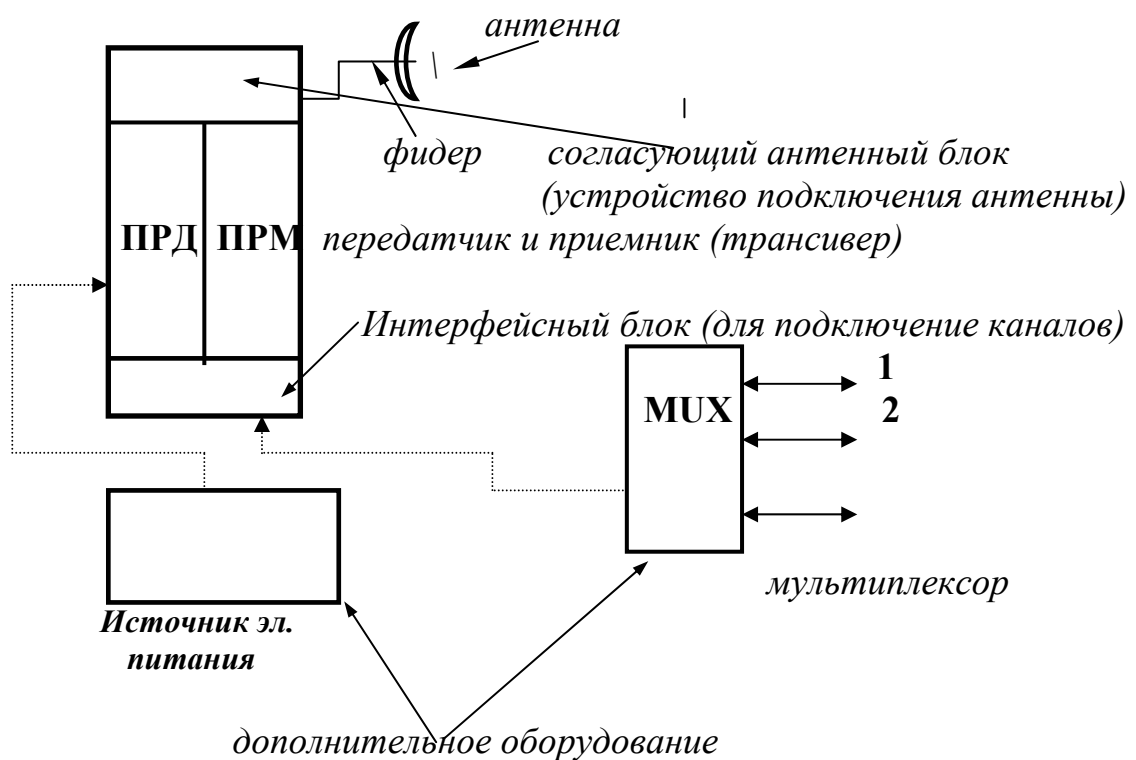
Оборудование, состоящее из передатчика, приемника и антенны называют **радиорелейной станцией (РРС)**. Место, где расположена РРС вместе с мачтой, источником питания и другим вспомогательным оборудованием называют **площадкой (САЙТ)**. Пространство между двумя сайтами, между которыми организована связь, называют **пролетом**. Длина пролета ограничивается рельефом местности, кривизной земной поверхностью, мощностью передатчика, чувствительностью приемника и диаграммой направленности антенн. Обычно это расстояние не превышает 60 км. Для передачи сигналов на большое расстояние образуются промежуточные сайты –

ретрансляторы. На ретрансляторах ставится два комплекта РРС, чтобы принимать и передавать сигналы в разных направлениях.

Современные РРС имеют мощность на выходе передатчика – на входе антенно-фидерного тракта ~ 1 Вт, ширину главного лепестка антенны $\sim 1-3^\circ$ (при диаметре антенны 0,6-3;5 м). Диаметр антенны соизмерим с $\sim 10\lambda$. Поэтому, чем выше частота, тем меньше диаметр антенны нужен для обеспечения требуемого угла основного лепестка.



РРС структурно состоит из следующих основных блоков



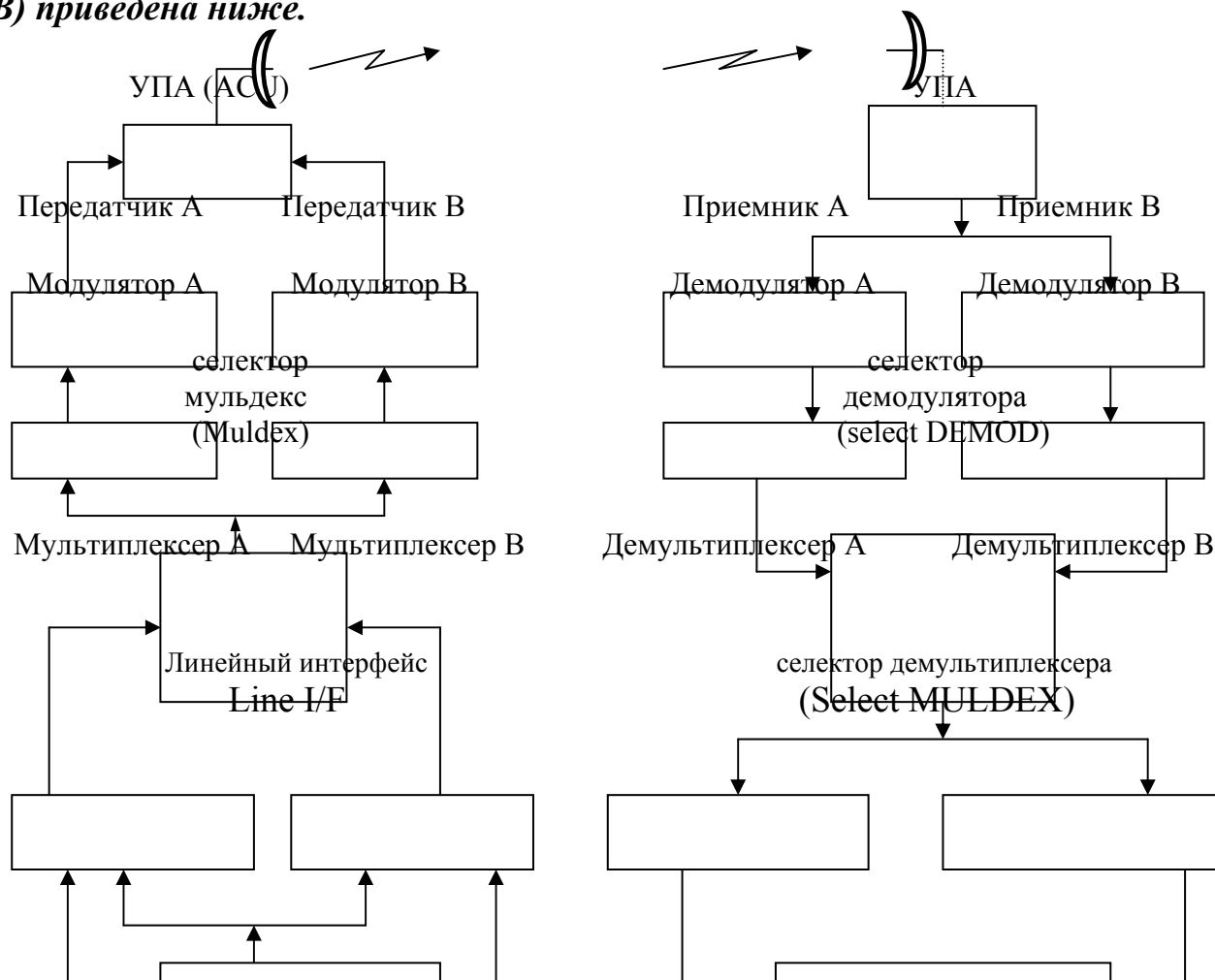
Радиорелейные станции могут быть аналоговыми или цифровыми. Представителем цифровой PPC является PPC «QUADRALINK» фирмы «HARRIS». Имеются PPC «QUADRALINK», работающие в области частот 2 или 7-8 ГГц, «GlobeStar» на 13, 15, 18 ГГц, «MicroStar» на 34 ГГц.

В разных конфигурациях они могут обеспечивать передачу сигналов с различной скоростью – т.е. разное количество цифровых каналов по Северо-Американским стандартам (T1, T2, T3) (DS1; DS2; DS3) или Европейским E1; E2; E3.

Структурная схема PPC «QUADRALINK»

В каждом комплекте имеется один трансивер (в системе без резервирования) или два трансивера (в системе с резервированием). Трансивер – это устройство, в котором объединены и передатчик и приемник.

Структурная схема PPC «QUADRALINK» с двумя трансиверами (А и В) приведена ниже.



E1 E1 E1

Линейный интерфейс
Line I/F

E3

E1 E1 E1 E3

При «горячем» резервировании по схеме N+1 все трансиверы работают одновременно, но трафик направляется по N трансиверам, а 1-н трансивер находится в «горячем» резерве. В случае нарушения передачи трафика в каком-либо канале или трансивере, контроллер непрерывно переключает этот трафик на резервный трансивер, который может иметь ту же самую или иную несущую частоту. Перед переходом на резервный трансивер приемник-передатчик на обоих концах пролета автоматически уведомляют друг друга о переходе на резервные комплекты.

Как видно из структурных схем при «горячем» резервировании трафик проходит через приемники, модемы, мультимплексы и основного и резервного трансивера, а контроллер через соответствующие селекторы выбирает канал «А» или «В» по наилучшему качеству сигнала.

Лекция 15

Синхронная цифровая иерархия

Существующие плезиохронные методы объединения потоков имеют ряд существенных недостатков.

В PDH системах для выравнивания скоростей приходится добавлять выравнивающие биты в поток, причём в неравные промежутки времени. Из-за этого поток в целом становится не совсем регулярным. Поэтому, чтобы извлечь информацию какого-либо отдельного канала из общего потока, нужно сначала расширить весь поток по каналам и удалить пустые выравнивающие биты. Это существеннейший недостаток PDH систем. Становится невозможным на промежуточных пунктах выделять или вводить отдельные каналы или группы каналов без полного демультиплексирования (расшивки) всего потока, а после вывода / ввода (drop / insert) снова мультиплексировать с добавлением новых выравнивающих бит. Этот недостаток мало сказывается при «перегоне» потока транзитом на длинных магистральных линиях, где такие вводы / выходы редки. А на сетях малой протяжённости, например, между банками и их филиалами, такая операция происходит весьма часто. Это ведёт к существенному увеличению объёма аппаратуры и удорожанию связи.

Другой недостаток PDH – слабые возможности в организации служебных каналов для целей контроля и управления потоком в сети и практически полное отсутствие средств маршрутизации (для сигналов маршрутизации практически нет места в циклах и сверхциклах). Поэтому в некоторых случаях дополнительные сигналы передают малым количеством бит взамен других сигналов и не каждый цикл, что ограничивает возможности PDH систем.

Рекомендация G.703 МККТТ вообще не предусматривает необходимые для маршрутизации адресные заголовки. Из-за отсутствия адресов назначения тех или иных каналов при многократных мультиплексированиях / демультиплексированиях можно вообще потерять «историю» возникновения и передачи информации, что приведёт к нарушению схемы маршрутизации всего потока. Некоторые возможности использования PDH систем с разными иерархиями и аппаратурой разных стран для совместной работы предусмотрены в рекомендациях G.747 и G.755 МККТТ.

Возникшие проблемы кардинально удаётся решить лишь в рамках нового подхода организации глобальной сети связи. Технические возможности позволяют осуществлять синхронизацию передаваемых и принимаемых потоков всей участвующей в соединении каналов аппаратуре от единого источника высокостабильных сигналов синхронизации. Это сразу снимает

проблему необходимости кодовых посылок сигналов синхронизации в циклах и сверхциклах. Причём, стабильность единой системы синхронизации обеспечивается вплоть до весьма высоких тактовых частот (десятки ГГц). Значит можно организовать весьма высокоскоростные потоки (выше, чем в PDH), а значит есть запас битовых позиций для организации передачи избыточных символов помимо информационных. Причём этот запас может быть весьма значительным. Это позволяет придавать каждому каналу свои ярлыки, адреса и многие другие дополнительные свойства, позволяющие легко распознавать каждый канал.

Такой путь признан мировым сообществом в качестве оптимального и для его реализации разработана технология СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ (СЦИ) – Synchronous Digital Hierarchy (SDH).

В рекомендации G.707 МККТТ приводятся его следующие преимущества:

- упрощённая техника объединения / разделения цифровых потоков;
- прямой доступ к компонентам без необходимости расшивки всего потока;
- расширение возможностей эксплуатации в сети и технического обслуживания;
- лёгкий переход ко всё более высоким скоростям передачи;
- возможна передача как сигналов SDH систем, так и PDH систем.

Исторически ошибки с плохой совместимостью аппаратуры разных стран PDH систем, да ещё работающих на разных стандартах, могла повториться и при разработке SDH систем. Каждая группа разработчиков стремилась внедрять в свою систему уже существующие PDH системы своих стран.

Вначале разработки велись применительно к волоконно-оптическим линиям связи. В США разрабатывали систему СИНХРОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ сети SONET, а в Европе аналогичную СИНХРОННУЮ ЦИФРОВУЮ ИЕРАРХИЮ SDH. Они были основаны каждый на своих стандартах организации структуры циклов и скоростей передачи. Такой подход сулил много проблем в будущем при международных стыках. Поэтому комитет SONET отказался от дальнейшей разработки и внедрения своей обособленной иерархии. Трудности в основном заключались в необходимости обеспечения совместной работы систем, основанных на разных стандартах скоростей:

Сев.Америк.: (1544 – 6312 – 44736 кбит / с)

Японский: (1544 – 6312 – 32064 – 97728 кбит / с)

Европейский (2048 – 8448 – 34368 – 129264 кбит /с)

Совместные усилия привели к разработке и публикации в Синей книге трёх основополагающих рекомендаций ССИТТ (Европейский комитет), теперь называется ITU – I по SDH: Рек. G.707; G. 708; G. 709 и параллельно для Америки организации ANSI и Bellcore опубликовали аналогичные стандарты для SONET.

Чтобы понять принципы организации SDH систем, необходимо освоить ряд новых терминов.

Скорость передачи на первом уровне стыка сетевого узла (CCU) (Network Node Interface – NNI) установлена равной 155520 кбит / с (выше верхней скорости Европейской PDH, равной 139264 кбит / с). Скорости более верхних уровней SDH получаются умножением в целое число раз: 4 (622080 кбит / с), 16 (2448320 кбит / с), разрабатываются и в 64 раза больше). В стадии разработки уровни ниже первого, например, уровни ниже 60 Мбит / с.

Основополагающим в технологии SDH является принцип построения сети SDH по ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СЛОЯМ. Самый верхний слой – пользователи, нижний – физическая среда передачи сигналов. Каждый вышележащий слой является клиентом нижележащего, который его обслуживает. Разделение на слои отображено в таблице:

Название слоя		Примеры	
Пользователей		Телефонные абоненты; источники передачи данных	
Каналов		сеть коммутации каналов	сеть Коммутации пакетов
Трактов	Низшего порядка	Сеть трактов VC – 12	
	Высшего порядка	Сеть трактов VC – 4	
Среды передачи	Секций	мультиплексных	Волоконно – оптическая сеть
		регенерационных	
		Физическая среда	

Такая структура позволяет производить усовершенствование и замену на более современную аппаратуру в любом слое независимо от других слоёв. Это достигается путём жёсткого соблюдения интерфейсов между слоями независимо от типа оборудования и страны производителя.

ИНТЕРФЕЙС:

- это совокупность унифицированных аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации взаимодействия различных функциональных устройств;
- позволяет иметь внутри каждого слоя собственные средства автоматизации функций контроля, управления и обслуживания (Operation, administration and Management – OAM).

Слой пользователей – это вся совокупность аппаратных свойств абонентов сети, передающих и получающих информацию. Сеть каналов – слой, обслуживающий пользователей, содержит электронные АТС, обеспечивающие подключение терминалов пользователей к тем или иным комплектам оконечных АТС системы SDH.

Сетевой слой трактов имеет два подуровня: низшего и высшего порядков, обслуживающих соответственно более низкоскоростные и высокоскоростные потоки.

Групповые тракты на выходе образуют групповые потоки, которые посредством оборудования сопрягаются с линейным трактом – средой передачи.

Информация клиента поступает из слоя в слой или выводится из слоя через точки доступа – интерфейсы.

Совокупность средств передачи информации клиента и средств автоматизации OAM внутри слоя называют ТРАССОЙ. Трасса состоит из одного или нескольких звеньев. Границами звеньев являются стык сетевого узла (ССУ), параметры которого оговорены в Рек. G. 708 (структура циклов); в Рек. G. 703 – (электрические характеристики); в Рек. G. 957 – (оптические характеристики).

Горизонтальное деление структуры сети SDH дополняется вертикальным – на подсети, например, международные, национальные, межзоновые, соединённые друг с другом соединительными линиями.

При переходе из слоя в слой информация преобразовывается для адаптации передачи в данном слое (преобразование сигналов, кодов, структуры циклов и т.п.).

На первом этапе, пока SDH системы не являются основными в задачу создаваемых SDH сетей входит передача потоков, образованных PDH системами. Для адаптации PDH потоков для компенсации скоростей используется система УКАЗАТЕЛЕЙ (Points – (P)) и специально зарезервированные биты в циклах SDH (Рек. G. 811).

Передача информации называется в SDH – транспортированием. Сам процесс транспортирования очень напоминает железнодорожные перевозки полезных грузов. Рельсы – линии связи. Конечные станции – терминальные окончания. Промежуточные пункты и разъезды – регенерационные и транзитные пункты. Узлы – узловые пункты. Поезда – циклы.

Грузы грузят в контейнеры различных размеров: 2т; 5т; 20т – целый вагон. Несколько вагонов, предназначенных в одно направление в составе поезда могут включить в сцепку друг с другом. Подобная терминология и в SDH системе.

Информацию пользователя, снабжённую для транспортирования нужными заголовками (сопроводительный документ), помещают в контейнер соответствующего размера (их размеры стандартизованы). Но т.к. этот контейнер не физический ящик, а последовательность бит (блоков) определённой длины и структуры, то такой контейнер называют ВИРТУАЛЬНЫМ (Virtual Container – VC). Точнее, входящий поток стандартной скорости вначале преобразуется в блоки – контейнеры, которые посредством операции размещения (SDH – mapping) преобразуются в VC с периодом 125 мкс или 500 мкс (в зависимости от вида тракта).

Лекция 16

Продолжение Л.15

Кроме исходной информации в VC формируется трастовый заголовок (Path Over Head - POH), который обеспечивает контроль качества тракта и передачу аварийной и эксплуатационной информации.

Входные потоки стандартных PDH скоростей в SDH системах называют ТРИБАМИ (Tribute). Процесс размещения трибов в VC – инкапсуляция – может производиться как синхронно, если трибы синхронизированы с SDH системой или асинхронно, если трибы из PDH системы. В последнем случае также производят выравнивание скоростей трибов с тактовой частотой SDH. Это так называемый плавающий режим, когда внутри VC нет жёсткого закрепления позиций за определёнными битами исходного потока. Синхронное размещение трибов в VC может производиться как в фиксированном, так и в плавающем режиме.

Таким образом VC – информационная структура, используемая в слое трактов SDH и содержащая коммерческую нагрузку и поля заголовков тактов.

Различаются два типа VC:

- низкого уровня VC-1 или 2 и высокого уровня VC-3 или 4. Формат VC прост.

POH+PL , где POH – тактовый заголовок, PL – полезная нагрузка.

Контейнеры (C) и VC уровней 1; 2 и 3 разбиваются на подуровни.

C и VC-1 на VC-11и VC-12

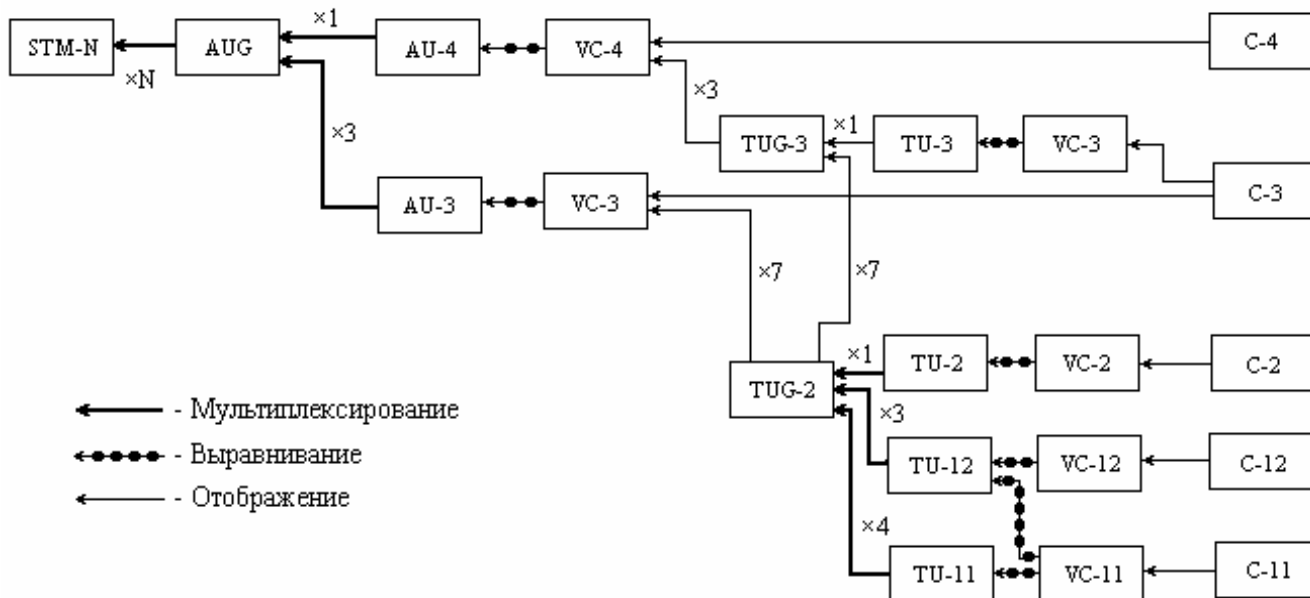
VC-2 – VC-21 и VC-22

VC-3 – VC-31 и VC-32

Общая схема мультиплексирования PDH трибов

(Редакция ITU – Т, 1993г.)

Стандарт по рекомендации G.708.



Итак: стандартные каналы доступа – ТРИБЫ

T-n	T-1	T-2	T-3		
Американская система					
	1,544 Мб/с	6,312 Мб/с	44,736 Мб/с		
E-n	E-1	E-2	E-3	E-4	
Европейская система					
	2,048 Мб/с	8,448 Мб/с	34,368 Мб/с	139,264 Мб/с	

являются входными SDH мультиплексоров. Они поступают на соответствующие входы устройств, формирующих контейнеры (С) с номерами n, т.е. С-n служат для инкапсуляции входных трибов. Инкапсуляция – процедура логического отображения структуры фрейма триба на структуру инкапсулирующего его контейнера. Номера n – совпадают с номерами объединённого Америк.-Европ. ряда скоростей.

Е4 и С-4 есть только у Европейской системы.

Для n = 1,2,3 приходится иметь подуровни:

- для Т1 – С-11; VC-11;
- Е1 – С-12; VC-12;
- Т2 – С-21; VC-21;
- Е2 – С-22; VC-22;
- Т3 – С-31; VC-31;
- Е3 – С-32; VC-32.

Значит в контейнере фреймы трибов преобразуются в некоторый новый формат размера PL, после чего происходит инкапсуляция в соответствующий VC путём добавления маршрутных заголовков размером РОН.

PL – поле различного (в зависимости от типа VC) размера двумерного формата 9×m (9 –строк, m - столбцов).

РОН – поле размером не более 9 байт двумерного формата 1×n. Пример: 1×9 байт для VC-4 или VC-32, формат 1×6 байт для VC-31.

С целью указания из каких трибных каналов и какого стандарта поступила информация, необходимо к заголовку VC добавить трибные заголовки, что и производится в трибных блоках (Tributary Unit - TU) (Субблоки). TU имеют также подуровни, соответствующие американскому и европейскому стандарту. К полю VC добавляется трибное поле PTR.

В субблоках TU происходит согласование (выравнивание) скоростей компонентных потоков. Блок TU представляет собой информационную структуру, обеспечивающую взаимодействие между слоями трактов низкого и высокого уровней. Он состоит из информационной нагрузки VC (низкий уровень) и добавляется указатель компонентного блока (высокий слой), например для TU-1=(TU-1 PTR) + VC, где (TU-1 PTR)=TUP.

Поля, получающиеся от низших групповых блоков TU, объединяются в группу субблоков (Tributary Unit Group - TUG). TUG-2 объединяет набор субблоков TU-11 + TU-12 или один TU-2, TUG-3 объединяет набор субблоков TU-2 или один блок TU-3. Группы получаются мультиплексированием.

Высшая ступень иерархии стандарта E4 не нуждается в дополнительных различительных признаках, поэтому поток стандарта E4 сразу после инкапсуляции в VC-4 поступает в административный блок (Administrative Unit - AU).

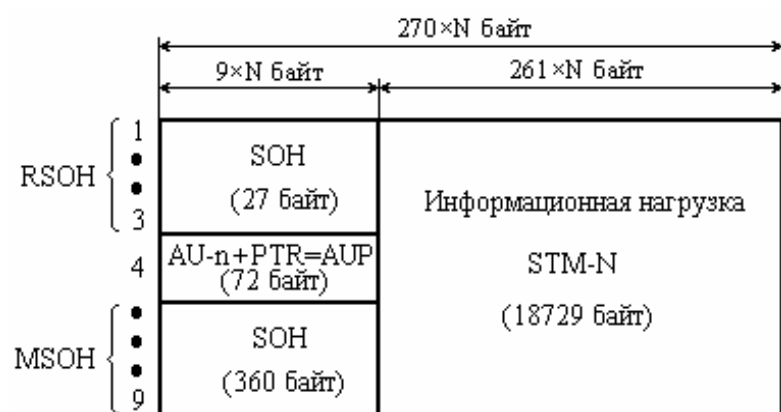
Аналогично группа AUG путём процедуры временного группообразования (мультиплексирования) образуется из группы AU-3 и AU-4.

Наконец, после мультиплексирования и необходимого добавления заголовков и других необходимых сигналов готов выходной сигнал, в виде определённой группы логических блоков. Такой выходной сигнал носит название СИНХРОННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ МОДУЛЬ (Synchronous Transport Modul - STM) в виде цикла длительностью 125 мкс. По приведённой схеме из трибных потоков PDH формируется STM первого уровня STM-1 (со скоростью 155520 кб/с).

В свою очередь блоки STM-1 сами могут мультиплексироваться с коэффициентами 4; 16 и 64, т.е. образуются модули STM-N, где N=1; 4; 16; 64.

СТРУКТУРА ЦИКЛА STM-N

В SDH принято изображать цикл передачи (фрейм) в виде рамки (таблицы), содержащей k строк и m столбцов, передаваемой за период цикла (125 мкс или 500 мкс). Каждый элемент рамки содержит 1 байт. Порядок передачи байтов во всех структурах одинаков: слева направо и сверху вниз. Наиболее значащий бит байта передаётся первым. Первые столбцы обычно



содержат заголовки и служебные сигналы, а затем идут информационные столбцы.

(...) байты в скобках указаны для рамки STM-1.

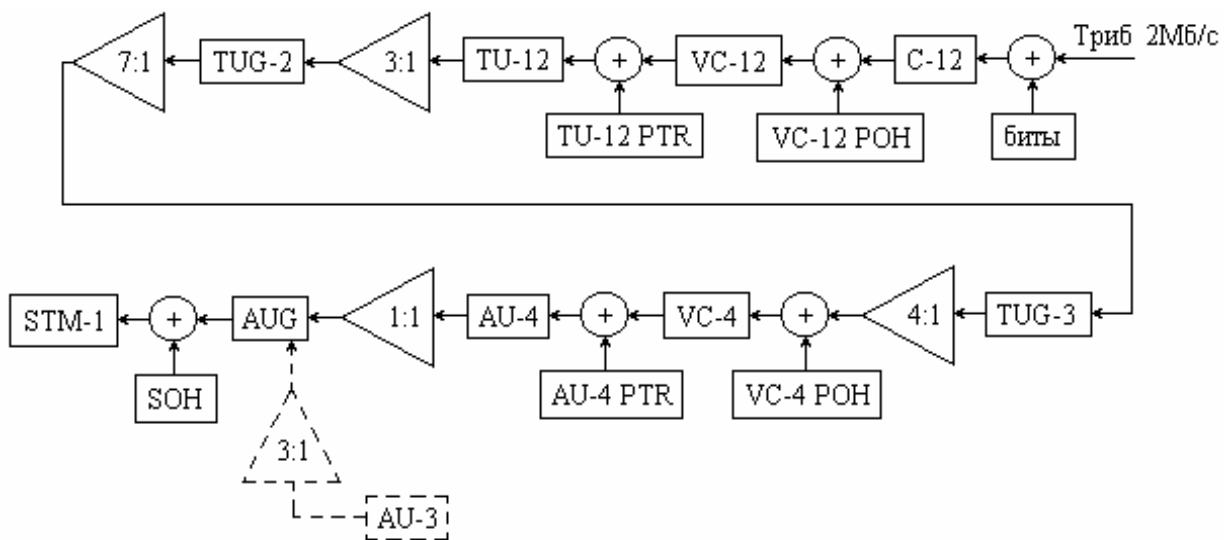
В рамке STM-N первые $9 \times N$ столбцов – байт заняты секционным заголовком SOH, подразделяющемся на регенерационный (RSOH) и мультиплексный (MSOH) подзаголовки. RSOH передаёт сигналы управления, контроля, цикловой синхронизации и порядка STM между регенераторами ($3 \times 9 = 27$ байт), а MSOH ($5 \times 9 = 45$ байт) – сигналы согласования между точками доступа слоя среды передачи в которых производится мультиплексирование/демультиплексирование. В этих SOH байтах передаётся также информация для автоматического управления маршрутом, переключением на резерв, передача данных и служебные сигналы. Среди них на 4-й строке передаётся группа из $9 \times N$ байт сигналов указателей административных блоков AUP. Положение AUP строго фиксировано относительно рамки STM. Остальные $261 \times N$ байт столбцов каждой строки заняты под коммерческую (полезную) информацию.

Для STM-1 получим скорость		информационная нагрузка	18729
$9 + 261$ байт = 270 одна строка		байт.	

$270 \times 9 \text{ строк} \times 8 \text{ бит} = 19440 \text{ бит за цикл } 125 \text{ мкс}$ или $19440 \text{ бит} \times 8 \text{ цикл по } 125 \text{ мкс} = 155520 \text{ кбит/с}$.

Для STM-4 это $STM-1 \times 4 = 622080 \text{ кбит/с}$. С 1993 года в России начали внедрять на сети связи оборудование STM-1 и STM-4 зарубежного производства.

Рассмотрим подробнее формирование модуля STM-1 на примере входного потока потока 2048 кбит/с .



1. Трибный поток E1 2048 кбит/с с тактовой частотой 8 кГц (как и у фрейма STM-1) входит в контейнер C-12. В потоке E1 32 байта ($\frac{2048 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^3} = 32$ байт). К этой последовательности возможно добавление выравнивающих бит и других фиксирующих, управляющих и упаковывающих бит (показано блоком "биты"). В итоге ёмкость C-12 может быть больше или равно 34 байтам. (примем 34 байт)
2. К контейнеру C-12 добавляется маршрутный заголовок POH длиной 1 байт. (будет 35 байт)
3. К контейнеру VC-12 добавляется указатель трибного блока PTR длиной 1 байт. (итого 26 байт)
4. Посредством байт мультиплексирования последовательность трибных блоков TU-12 группируется в субблоки по три группы $36 \times 3 = 108$ байт. Итак TUG-2 имеет длину 108 байт. Это удобнее представить в виде матрицы 9×12 байт.
5. Последовательность TUG-2 повторно байт-мультиплексируется для формирования группы TUG-3 $108 \times 7 = 774$, т.е. матрица 9×84 байт.
6. Последовательность TUG-3 мультиплексируют 3:1. Получают $774 \times 3 = 2322$.
7. Формируется VC-4 путём добавления маршрутного заголовка POH длиной 9 байт. Фрейм становится длиной $2322 + 9 = 2331$ байт.
8. Добавляется заголовок PRT длиной 9 байт для получения административного блока AU-4.
9. Путём формального мультиплексирования 1:1 AU-4 и мультиплексирования 3:1 AU-3 объединяются в группу административных блоков AUG.
10. К группе AUG добавляется СЕКЦИОННЫЙ заголовок SOH (из 2-х частей RSOH 3×9 байт, MSOH 5×9 байт) в результате чего оказывается сформированным стандартный транспортный модуль STM-1 в виде кадра длиной 2430 байт или в виде матричного фрейма 9×270 байт, что при частоте передачи 8 кГц составит скорость 155,52 Мбит/с.

Несколько отличающиеся схемы составления STM-1 будут получаться для других трибных потоков.

Лекция №17

Функциональные модули сетей SDH

Сеть SDH строиться из отдельных функциональных модулей ограниченного набора, связанных между собой логически, или физически (кабелями). Этот набор определяется необходимыми задачами организации связи.

СБОР- (раздачу) входных (выходных) потоков через каналы доступа на начальных (конечных) пунктах осуществляется **терминальным** мультиплексором / демультимплексором (MUX / DEMUX).

ТРАНСПОРТИРОВКА агрегатных транспортных модулей по сети с возможностью ввода / вывода потоков их компонент осуществляется с помощью **МУЛЬТИПЛЕКСОР** ввода / вывода (Multiplexer drop / insert).

КОММУТАЦИЯ-КРОСС-КОММУТАЦИЯ в выделенных узлах сети для перегрузки виртуальных контейнеров из одного сегмента сети в другой в соответствии с маршрутизацией осуществляется с помощью **цифровых коммутаторов или кросс-коммутаторов-DXC**.

ОБЪЕДИНЕНИЕ нескольких однотипных потоков в распределительный узел-концентратор (ХАБ) производится с помощью **концентратора**.

РЕГЕНЕРАЦИЯ формы и амплитуды сигнала осуществляется **регенераторами**.

СОПРЯЖЕНИЕ сети SDH с каналами пользователя производится **терминальным** оборудованием, включающим в себя **конверторы** интерфейсов, конверторы скоростей, конверторы импедансов и т.п.

Мультиплексоры SDH

Поскольку в каждом комплекте оборудования узла связи одновременно производится в одном направлении передача, а другом приём, то в одном блоке монтируется и мультиплексор и демультимплексор, выполняющие взаимнообратные функции объединения / разъединения (расшивки) потоков.

Мультиплексоры SDH в отличие от мультиплексоров PDH выполняют как функции мультиплексирования, так и функции терминального устройства доступа низкоскоростных каналов PDH иерархии непосредственно к своим входным портам. Кроме того они могут выполнять ещё и коммутацию, концентрацию и регенерацию. Конструктивно SDH мультиплексоры (SMUX) выполнены в виде

модулей. Меняя состав модулей и программное обеспечение по управлению можно обеспечить вышеперечисленные функции SMUX. Однако есть различие между терминальным SMUX и SMUX ввода / вывода.

Терминальный мультиплексор (ТМ SMUX) является мультиплексором / демультиплексором и одновременно оконечным устройством SDH сети с каналами доступа соответствующим трибам PDH и SDH иерархий. ТМ SMUX может вводить каналы (трибные потоки) и коммутировать их на линейный выход или может коммутировать линейные сигналы на трибные выходы т.е. выводить. Кроме того он может осуществлять локальную коммутацию входа какого-либо трибного интерфейса на выход подобного же интерфейса. (т.е. осуществляет шлифование трибных потоков на входе, правда для потоков 1,5 и 2).

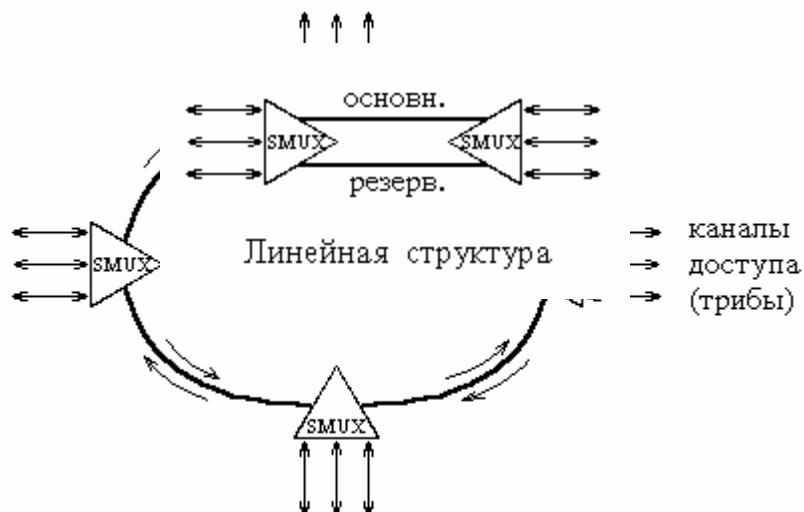
Т.к. SDH система разрабатывалась под оптические линии связи, то и MUX имеют выходные интерфейсы на оптические линии связи. Только STM-1 может иметь или электрические, или оптические линейные выходы, а STM-4;64 имеют только оптические входы / выходы.

Причём, оказалось несложно иметь два линейных входа (каждый обеспечивает одновременно приём и передачу) их ещё называют оптический агрегатный канал приёма / передачи.



структуры сети: кольцевой, линейной, звездообразной и т.п. При кольцевой сети- это большое преимущество SDH MUX-ов одно направление –“запад”, а в другую сторону – “восток”.

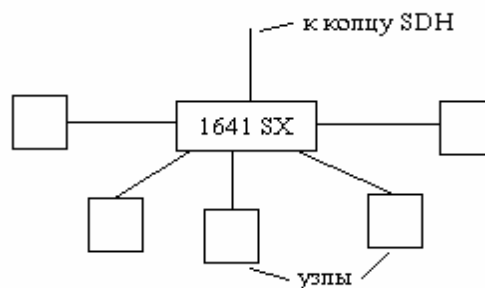
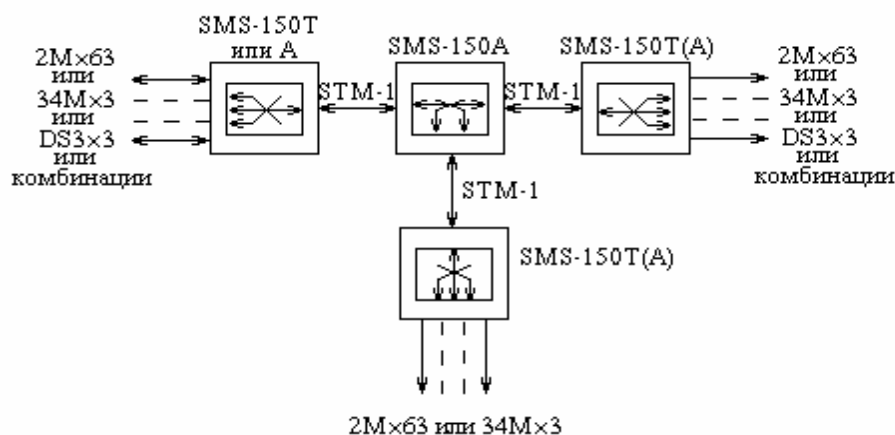
При линейной структуре сети эти выходы называют основной



и резервный.

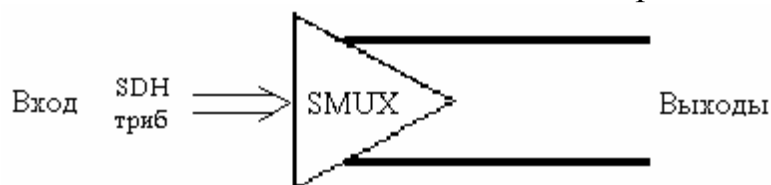
Мультиплексор ввода / вывода-ADM (Add / Drop Multiplexer) (или Drop / Insert) – может иметь на выходе тот же набор приборов, что и терминальный и может выводить из общего потока или вводить в него компонентные трибные потоки, осуществлять коммутацию и кроме того, позволяет осуществлять сквозное (транзитное) прохождение всего потока с одновременной регенерацией сигналов. ADM может также замыкать (шлейфовать) агрегатные оптические выходы “восточный” на “западный” и наоборот. Это позволяет в случае выхода из строя одной линии переключать поток на другую, т.е. осуществляется резервирование. Кроме того, в случае выхода из строя самого блока ADM имеется возможность пропускать оптические сигналы минуя сам мультиплексор, т.е. в обход.

Концентратор (иногда по старому их называют ХАБом)- это мультиплексор, объединяющий несколько (обычно однотипных) потоков со стороны входных портов, поступающих от удалённых узлов сети в один распределительный узел сети SDH. Это даёт возможность организовывать структуры типа “звезда”.



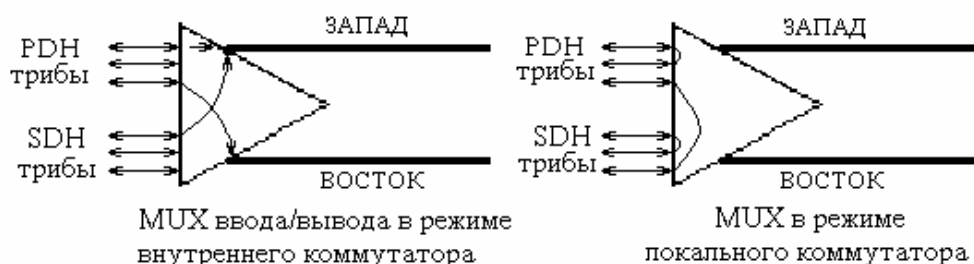
Концентраторы позволяют уменьшить общее число портов подключенных непосредственно к основной транспортной сети. Мультиплексор распределительного узла в звездчатой структуре позволяет локально коммутировать между собой удалённые узлы без необходимости их подключения к основной магистрали.

Регенераторы- это тоже мультиплексор (часто это более простые устройства). Регенератор имеет один оптический вход триба типа STM-N и один или два оптических агрегатных выхода.



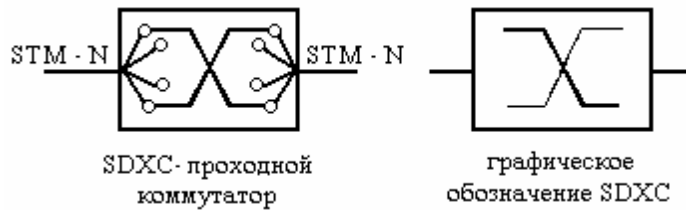
Регенератор восстанавливает форму и амплитуду импульсов, подвергшихся затуханию в линии. Регенераторы в зависимости от используемой длины волны лазера и типа кабеля ставят через 15-40 км. Имеются проработки для более длинноволновых лазеров оптических кабелей с затуханием менее 1 дБ/км. Это позволяет ставить регенераторы через 100 и более км, а с оптическими усилителями и через 150 км.

Коммутаторы- подавляющее большинство выпускаемых разными производителями мультиплексоров ADM строятся по модульному типу. Среди этих модулей центральное место занимает модуль КРОСС-КОММУТАТОР или часто называют просто КОММУТАТОР (DXC). Кросс-коммутатор может осуществлять ВНУТРЕННЮЮ коммутацию и ЛОКАЛЬНУЮ коммутацию.



Также возможности позволяют гибко организовывать связь и, что очень важно, позволяют осуществлять маршрутизацию. Если коммутировать локально однотипные каналы, то коммутатор будет выполнять и роль концентратора.

Для SDH систем разработаны специально синхронные коммутаторы SDXC, осуществляющие не только локальную, но и общую - сквозную коммутацию (или ещё называют ПРОХОДНУЮ) высокоскоростных потоков (34 мб/с и выше) и возможность НЕБЛОКИРУЮЩЕЙ КОММУТАЦИИ – т.е. при коммутации каких-либо каналов, остальные не должны блокироваться.



В настоящее время существуют несколько разновидностей SDXC коммутаторов. Их обозначение имеет вид SDXC n/m, где n- номер VC, который может быть принят на входе, m- максимально возможный уровень VC, который может коммутироваться. Иногда указывают целый набор номеров VC, которые могут коммутироваться.

Для STM-1

SDXC 4/4 – и принимает и коммутирует VC-4 или потоки 140 и 155 Мбит/с.

SDXC 4/3/2/1 – принимает VC-4 или потоки 140 и 155 Мбит/с, а коммутирует (обрабатывает) VC-3; VC-2; VC-1 или потоки 34 или 45,6 Мб/с; 1,5 или 2 Мбит/с.

SDXC 4/3/1

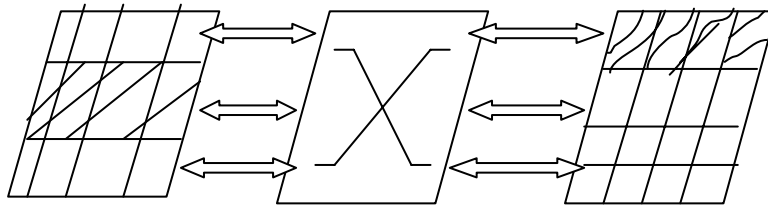
SDXC 4/1

Лекция 18

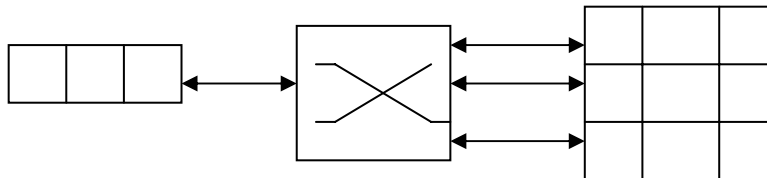
Продолжение Л.17

Итак, *функции, выполняемые коммутатором:*

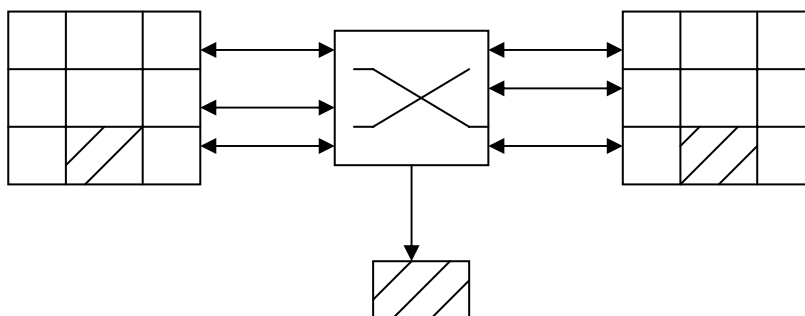
1. **Маршрутизация (routing)**..., производимая на основе информации в маршрутном заголовке РОН соответственного VC.
2. **Объединение (консолидация) (consolidation/hubbing)** VC-в в режиме концентратора (хаба).
3. **Трансляция (translation)** потока от точки к нескольким точкам (мультиточкам), (point-to-multipoint), осуществляется в режиме связи «точка-мультиточка» или иногда мультикастинг.
4. **Сортировка (или перегруппировка) (grooming)** VC-в, осуществляемая с целью создания нескольких упорядоченных по какому-либо признаку контейнеров, потоков.
5. **Доступ к VC-пу (test access)**, осуществляемый при тестировании оборудования.
6. **Ввод/вывод (drop/insert)**, VC-в в режиме мультиплексора ввода/вывода.

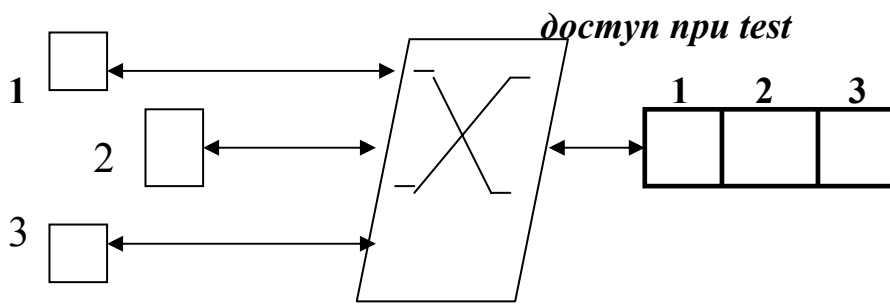


маршрутизация

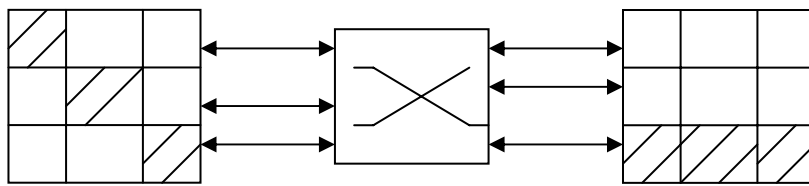


трансляция от точки к точке

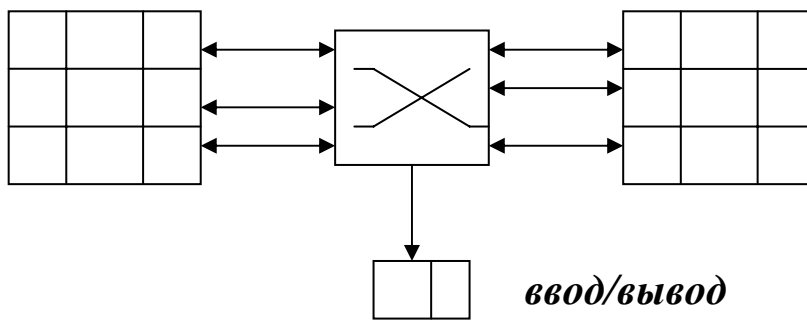




консолидация

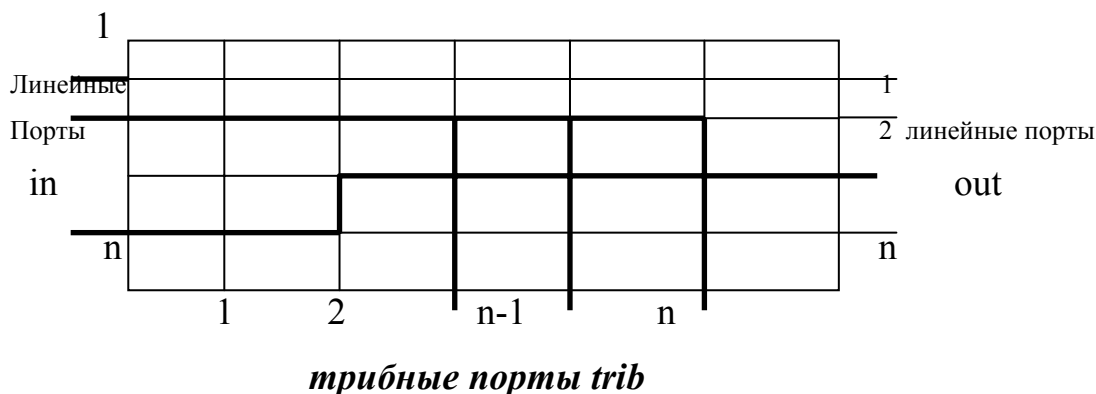


сортировка



Методы кросс-коммутации и взаимодействие сетей SDH.

Коммутатор может рассматриваться как некоторая многопортовая сеть, связывающая **три вида портов**: линейные порты ввода/вывода (*in*), линейные порты вывода/ввода (*out*) и трибные порты ввода/вывода (*trib*). Ядром такого коммутатора является неблолируемая, полнодоступная матрица размером $n \times n$.



Матрица управляется микроконтроллером и обеспечивает в общем случае коммутацию сигналов следующих уровней:

TU-1(1,5 или 2 мбит/с)

TU-2(6 мбит/с)

TU-3(34 или 45 мбит/с)

AU-4(140 мбит/с).

Возможна коммутация как в одном направлении, так и в обоих (передача-прием).

Прямая in-out; out-in;

Внутренняя коммутация in-trib; trib-in; out-trib; trib-out

Локальная trib-trib

Точка-мультиточка $in_2 \rightarrow trib^1_2_3$ и т.п. Т.е. все ранее перечисленные типы коммутации типа «точка-все точки» – родкастинг (broadcasting). Емкости коммутаторов могут быть разные (до $4096 \cdot 4096$ соединений)

Мультиплексоры с мощными коммутаторами дают возможность организовывать взаимодействие элементов сети SDH и тем самым организовывать различные структуры самой сети.

Во-первых, можно осуществлять связь двух колец SDH с перегрузкой трафика с одного кольца на другое. Причем эти кольца могут быть связаны с собой одним или двумя MUX.

Во-вторых, MUX, рассматриваемый как автономный узел связи, может работать как концентратор с перегрузкой потоков на ТРИ (трехлучевая звезда) или на четыре (4-х лучевая звезда) направления. Это позволяет использовать мультиплексоры и в ячеистых структурах, каковым обычно являются телефонные сети общего пользования. В сетях общего пользования кольцевые структуры обычно менее эффективны, т.к. в сегментах может быть очень разное сочетание скоростей потоков.

Блочная структура позволяет конфигурировать аппаратуру для конкретных целей. Например, в мультиплексорах типа STM-4 для увеличения количества переключаемых соединений можно вставить 2 дополнительных коммутатора уровня STM-1, каждый из которых сам может коммутировать порядка 126-252 первичных канала по 2 мбит/с каждый.

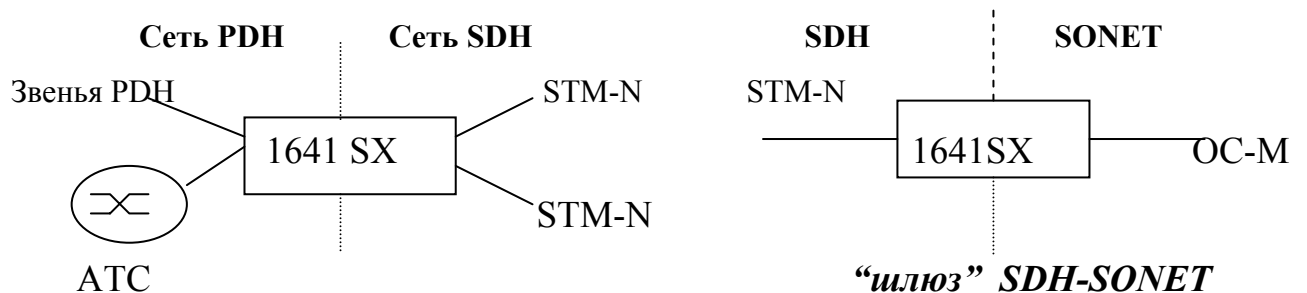
Важно, что применение кросс-коммутаторов позволяет связать в единую сеть и сегменты различных сетей PDH, SDH, SONET. Характерным примером таких коммутаторов класса SDXC 4/3/1 являются коммутаторы T::DAX компании ECI и 1641 SX компании ALKATEL.

Правда такие коммутаторы выпускаются в виде отдельных устройств и применяются только по необходимости.

Коммутатор T::DAX поддерживает Европейские стандарты PDH и SDH и Американские стандарты PDH Asynk и SDH SONET 2 мбит/с (или 1,5 мбит/с); 34 или 45 мбит/с; STM-1; STS-1,3; OS-3. Его коммутирующая емкость: основная 1792·2 мбит/с
расширенная 3584·2 мбит/с.

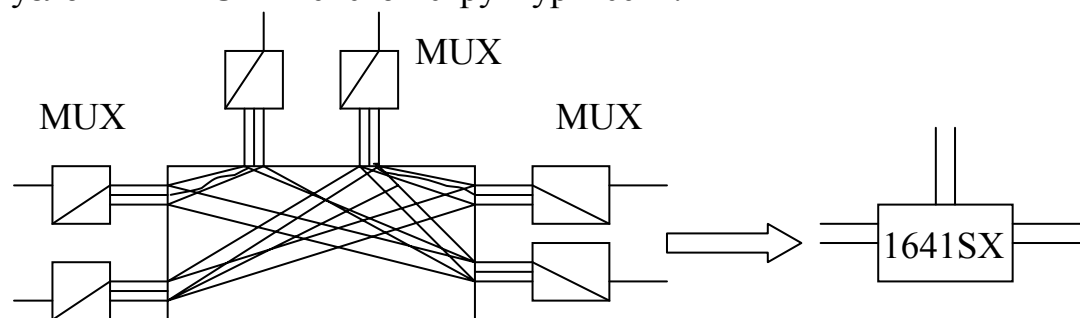
Коммутатор 1641 SX также поддерживает вышеназванные стандарты и позволяет местно или дистанционно обрабатывать потоки с суммарным эквивалентом STM-1 портов. Количество этих портов, эквивалентных каждый потоку STM-1, может быть 48; 112 или 192 с квадратной матрицей коммутации. Со специальной матрицей число портов, эквивалентных STM-1 может быть 224 или 560. В конфигурации 48 STM-1 портов он позволяет, например, коммутировать 448 2-х мегабитных каналов, плюс 24 канала по 34 мбит/с и плюс 16 каналов по 140 мбит/с и плюс 1 канал STM-1.

Этот коммутатор может использоваться в различных конфигурациях сети и может применяться как шлюз между сетями PDH и SDH и в сетях типа «звезда». Или может использоваться как шлюз между сетями SDH и SONET.

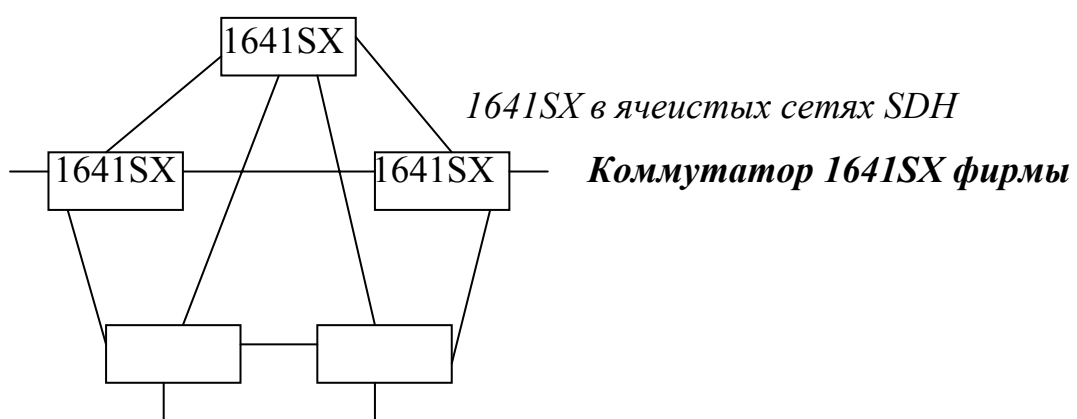


«Шлюз» между сетями PDH и SDH

Также этот коммутатор может быть использован как мультиплексор более высокого уровня, либо как многопортовый концентратор для связи с узловыми MUX ячеистой структуры сети.



1641 SX вместо MUX



1641SX 1641SX

Топология сетей SDH

При проектировании сети связи SDH нужно пройти несколько этапов в зависимости от конкретных условий ТЗ. Также как выбор топологии сети, выбор оборудования узлов и промежуточных пунктов, формирование сетей управления и синхронизации.

При выборе топологии сети обычно пользуются базовыми стандартными топологиям, из которых составляют сеть в целом.

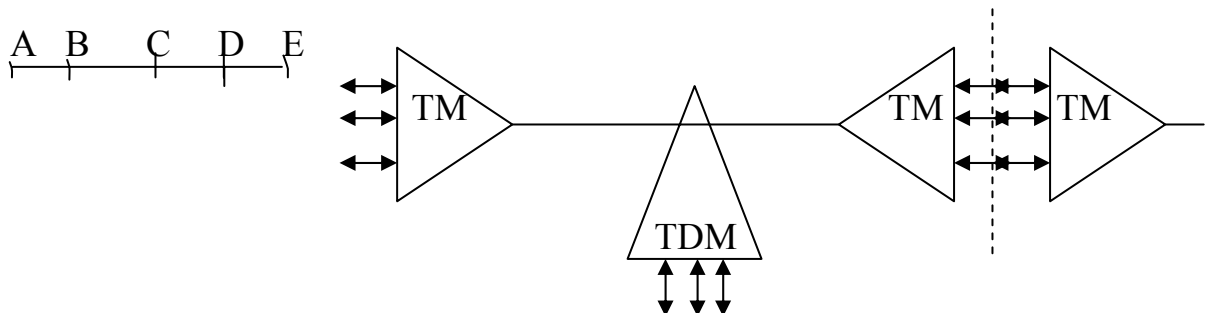
✓ **Топология «точка-точка»** A —————> B

Эта топология чаще всего исполняется с помощью терминальных мультиплексоров (ТМ).

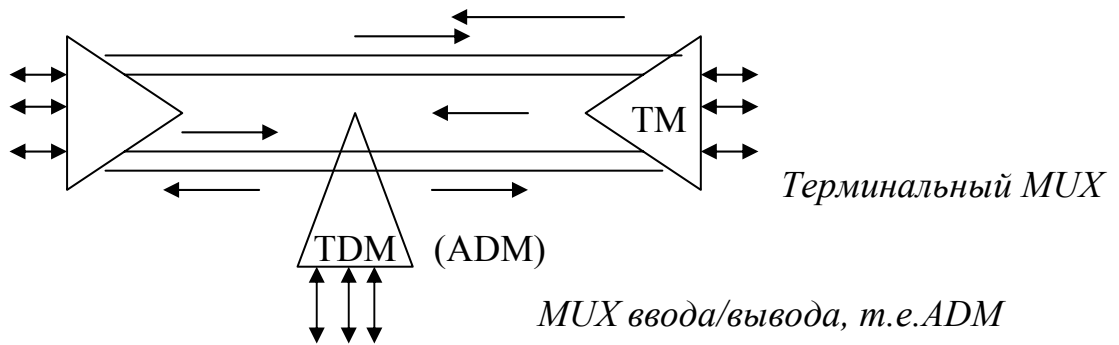


Если прием и передача ведется по одному из агрегатных каналов (оптическому или электрическому), то второй агрегатный канал может использоваться в качестве резервного. В случае повреждения основного канала за миллисекунды система переключается на резервный. Такая система защиты называется «Резервирование 1+1». Такая топология, например, используется в трансокеанских системах. Можно использовать и при отладке отдельных сегментов сложной сети.

✓ **Топология «последовательная линейная цепь»**



Система без резервирования

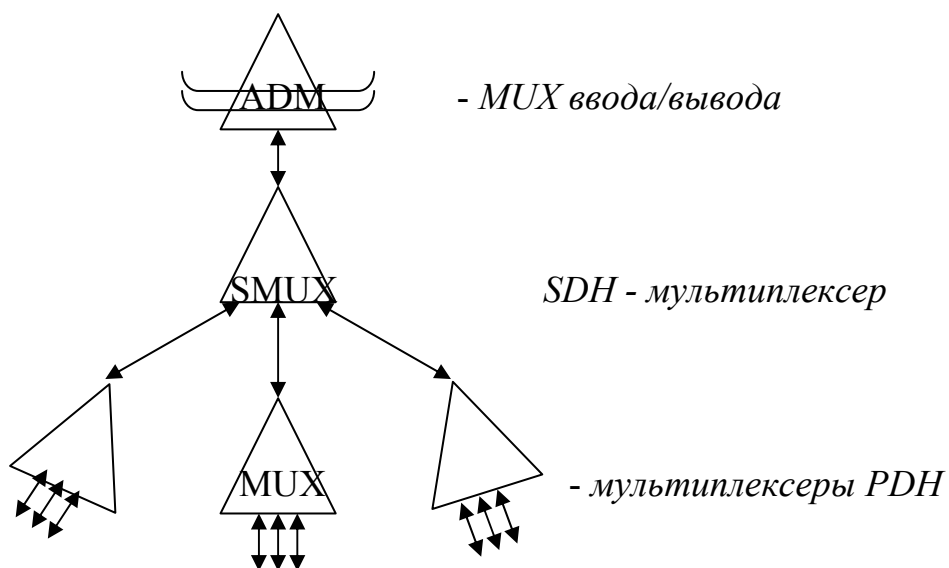


Последовательная линейная цепь типа «уплощенное кольцо с резервирование 1+1»

Такая структура обычно используется в сетях с малым трафиком и имеется необходимость ответвления в некоторых точках (узлах) сети.

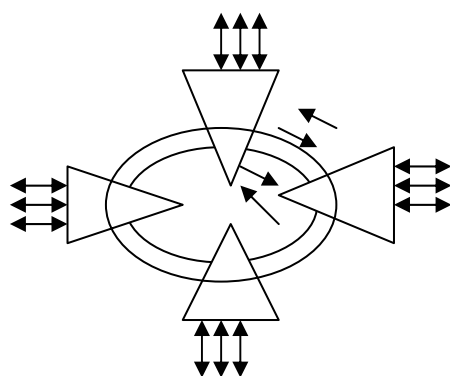
✓ Топология «звезда»

При необходимости сбора каналов относительно малой емкости от удаленных пользователей с целью их подключения к центральному узлу, мощной цифровой АТС в сети SDH можно использовать несколько видов мультиплексоров, которые совместно будут выполнять роль ХАБА (концентратора) в топологии типа «звезда».



✓ **Топология «кольцо»**

Эта топология широко используется в сетях первых двух уровней SDH (155 и 622 мбит/с). Имеются мультиплексоры с двумя парами агрегатных выходов (например Alkatel 1651SM 4·STM-4) т.е. 4 выхода. С ними можно организовывать двойное кольцо, т.е. с резервированием 1+1.



Лекция 19

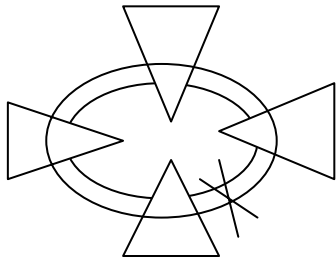
Методы защиты синхронных потоков.

Современная аппаратура позволяет сохранять или восстанавливать работоспособность сети при выходе из строя одного из элементов сети или среды передачи – кабеля. В нашей стране такие системы называют самовосстанавливающимися.

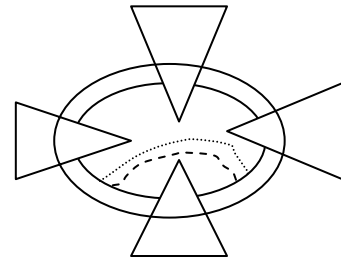
1. Резервирование по схеме 1+1 по разнесенным трассам. Работают одновременно обе трассы, но непрерывно анализируется качество сигналов и выбирается лучший канал.
2. Резервирование 1:1. Используется только один из каналов (ему присваивают высокий приоритет). При аварии переходят на резервный канал (он имел до этого низкий приоритет).
3. Организация кольцевых структур с резервированием типа 1+1 или 1:1.
4. Резервирование терминального оборудования по типу 1:1 или N:1, где N – рабочие, 1-резервированные.
5. Восстановление сети путем обхода неработоспособного узла.
6. Использование систем оперативного переключения.

В кольцевых структурах при наличии 2-х волокон (два агрегатных выхода) организуют систему «сдвоенное кольцо», а при 4-х выходах «двойное сдвоенное кольцо». В сдвоенном кольце используют одновременную передачу/прием с одного агрегатного выхода сразу на два оптоволокна, а устройство контроля выбирает информацию из того, где лучше качество (резервирование 1+1). Прием/передача может быть организована либо по однонаправленной схеме (по часовой стрелке или против) или по двухнаправленной схеме (в разные стороны одновременно) – одно направление – основное, другое – резервное.

Это дает возможность сохранять сеть например при таких неисправностях

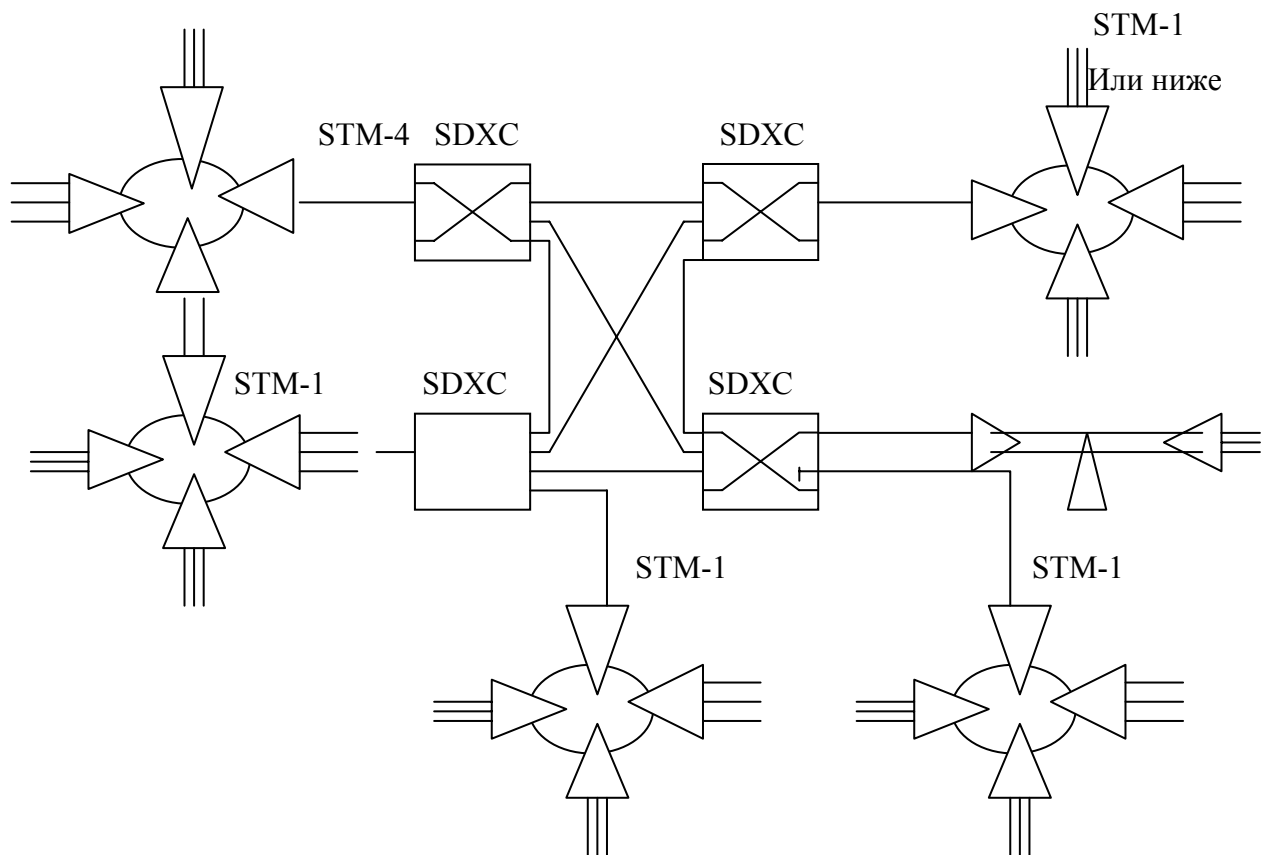


Шлейфование трибных блоков при нарушении кабеля



Организация обходного пути (сквозной передачей) при неисправности MUX

Примеры архитектуры сети SDH



Разветвленная сеть SDH с каскадно-кольцевой и ячеистой структурой.

Аппаратная реализация функциональных блоков сетей SDH

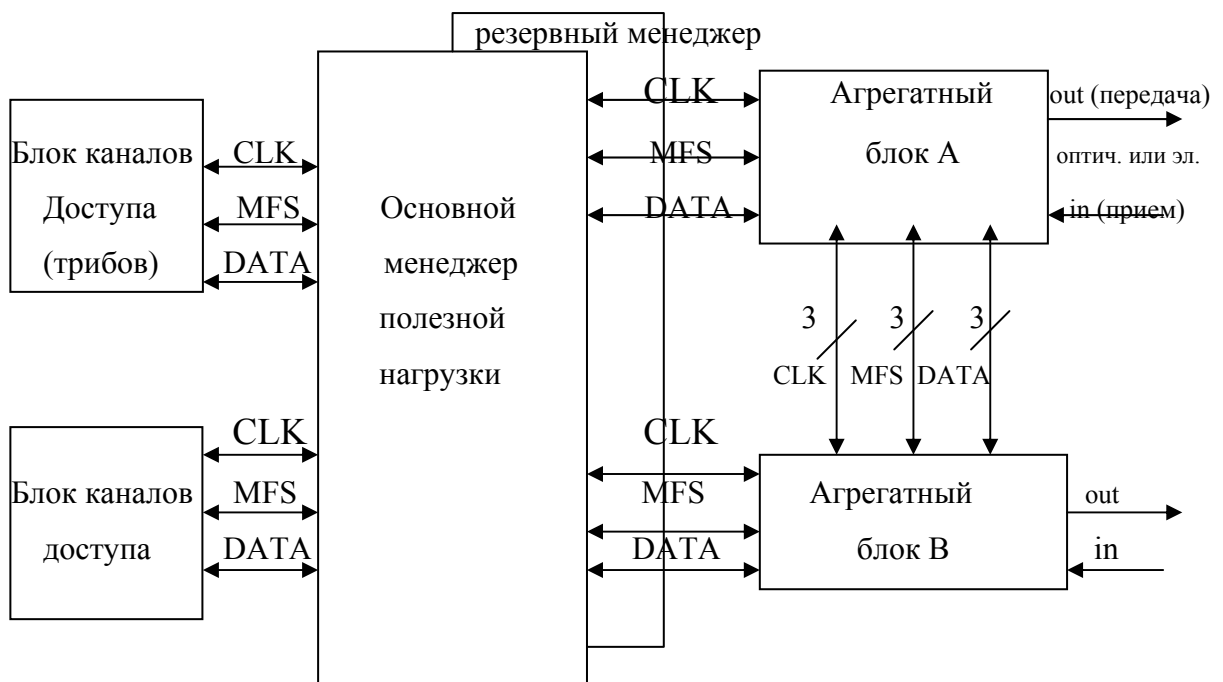
Синхронные мультиплексоры SMUX различных производителей имеют некоторые различия, однако все они должны отвечать по основным параметрам принятым стандартам. Мы рассмотрим мультиплексоры различных уровней некоторых производителей на основе их блок-схем.

Реализация мультиплексоров STM-1

✓ Компания NORTEL TELECOM (проще **NORTEL**)

✓ *Название:* TN-1X

Выпускается в виде стойки.



В TN-1X имеется:

- 4-ре трибных блока (интерфейсы) с 16-ю электрическими портами по 2 Мбит/с для ввода/вывода до 63 входных потоков.
- Два менеджера полезной нагрузки (основной и резервный) служащих для формирования и управления полезной нагрузкой в виде VC-n, TU-n, TUG-2 и TUG-3. Этот менеджер управляет операциями

ввода/вывода каналов доступа (трибов), мультиплексированием и внутренней коммутацией потоков, производит сортировку (grooming) на уровне трибных блоков TU-n, формирует полезную нагрузку до уровня административных блоков AU-n и передает нагрузку на интерфейсы агрегатных блоков;

- Два оптических или электрических агрегатных блоков (AU) (блок А и блок В) с выходными портами 155 мбит/с (STM-1);
- Два (основной и резервный) блока питания (на схеме не указаны).
- Один контроллер и локальную (местную) панель оператора (на схеме не указано).

Мультиплексор TN-1X также обеспечивает объединение до 63 потоков по 2 мбит/с в один или два потока по 155 мбит/с на выходе агрегатных блоков.

TN-1X может быть сконструирован для работы в качестве:

- Терминального мультиплексора (ТМ) с резервированием 1+1
- Мультиплексора ввода/вывода с двумя агрегатными выходами (восток-запад) для работы в сетях с топологией «двойное кольцо» и защитой 1+1 со встречными потоками или в «последовательной линейной цепи».
- Мультиплексора ввода/вывода с одним агрегатным блоком для работы в качестве терминального мультиплексора в сетях «точка-точка» и «последовательная линейная цепь».

Характеристики TN-1X:

Трибные интерфейсы:

- ✓ Скорость передачи данных на входе – 2048 кбит/с
- ✓ Линейный код HDB3
- ✓ Входной импеданс – 75 Ом (коаксиальный вход)
- 120 Ом (симметричный вход).
- ✓ Амплитуда импульса на выходе $\pm 2,37$ V (на 75 Ом) и $\pm 3,0$ V (120 Ом)
- ✓ Номинальная длительность импульса $t_{и}=244$ нс

- ✓ Максимально допустимые потери на отражение на входе/выходе – 18/8 дБ
- ✓ Соответствие стандартам ITU-T Rec. G.703

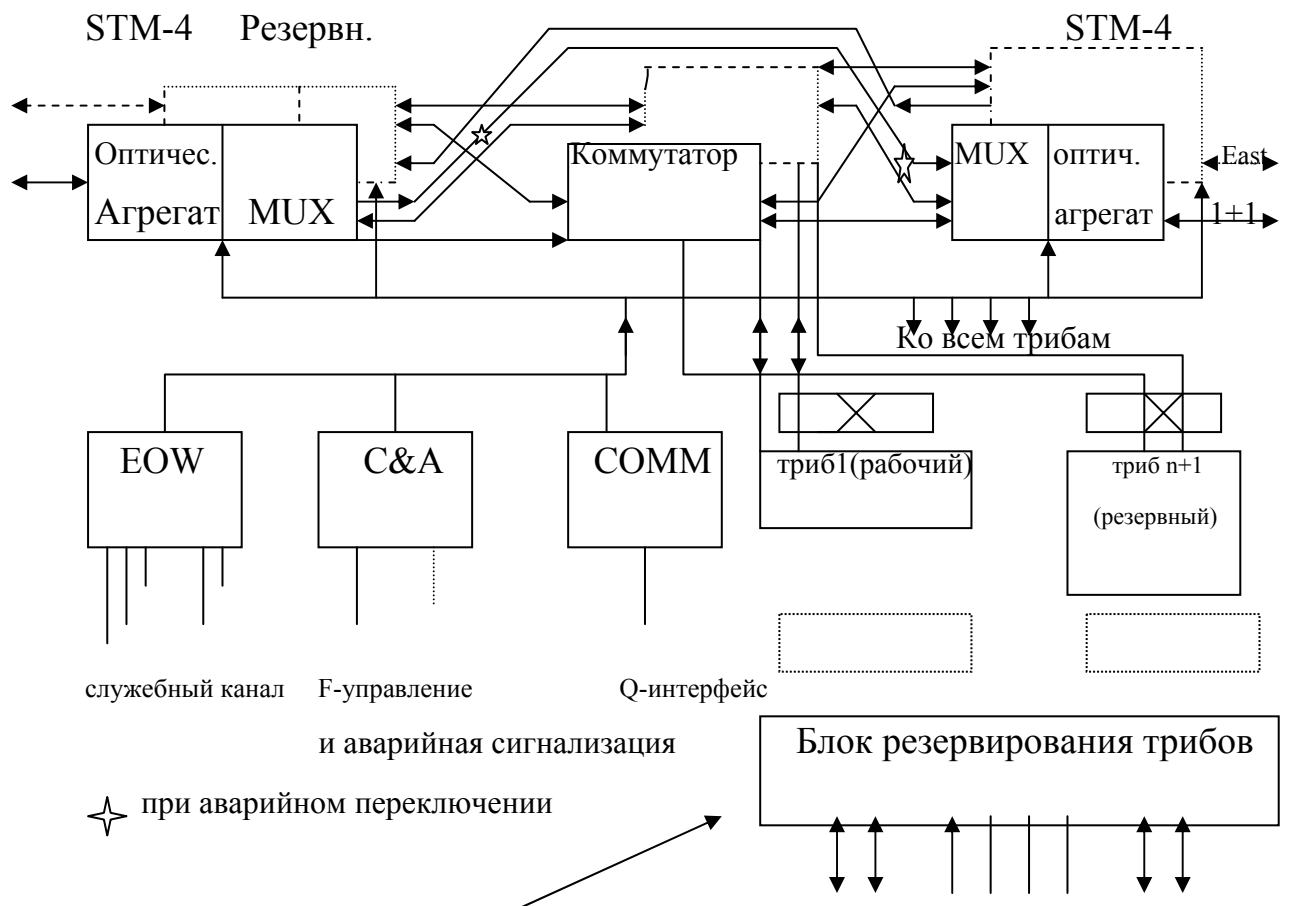
Оптические входы/выходы агрегатных блоков

- ✓ Выходная мощность $P_{\text{вых}}$ – 1 мВт
- ✓ Чувствительность приемника – 34 дБ (при коэффициенте ошибок 10^{-10})
- ✓ Максимально допустимые потери на секцию – 28 дБ
- ✓ Длина волны – 1310 нм
- ✓ Тип волокна – одномодовый
- ✓ Соответствие стандартам ITU-T Rec. G.703

Мультиплексор STM-4

- ✓ **Компания:** GPT (Англия)
- ✓ **Название:** SMA-4

Выпускается на двойной стандартной стойке 980·450·280 мм



для организации резервирования N:1

интерфейсы каналов доступа

Основные блоки:

- ✓ Трибные блоки с набором электрических портов на различные скорости (от 1,5 и 2 до 140 и 155 мбит/с)
- ✓ Две пары (основной и резервный) мультиплексоров и коммутаторов для объединения, локальной коммутации и управления потоками
- ✓ Два оптических агрегатных блока (запад-восток) с выходными портами 622 мбит/с (STM-4)
- ✓ Два блока питания (основной и резервный) (не указаны)
- ✓ Интерфейсы контроля управления
- ✓ Служебный канал

SMA-4 обеспечивает мультиплексирование до 252 или 504 потоков

1,5 мбит/с или 2 мбит/с

или до 12 или 24 потоков 34 мбит/ или 45 мбит/с

или до 4 или 8 потоков 140 мбит/с

или до 6 или 12 частично заполненных 155 мбит/с потоков (при –м потоке

не выше 252 (504) 2 мбит/с потоков объединяя их в один или два потока 622 мбит/с на выходе оптических агрегатных блоков.

SMA-4 может быть сконфигурирован в качестве:

- ✓ Терминального MUX с двумя выходными агрегатными портами с резервированием 1+1; или с резервированием N:1 потоков 1,5 или 2 мбит/с
- ✓ Мультиплексора ввода/вывода с двумя агрегатными выходами в топологии 2-е кольцо с встречными потоками с резервированием 1+1 или по схеме "«последовательная линейная цепь»"
- ✓ MUX с одним агрегатным выходом без резервирования в сетях «точка-точка» и «последовательная линейная цепь»

- ✓ Оптического концентратора в топологии «звезда» на вход которого подаются потоки STM-1 (до 12-ти частично заполненных STM-1 могут объединяться на уровне VC-12 в один или два STM-1 или STM-4 потока).
- ✓ Небольшого самостоятельного коммутатора или коммутатора, объединяющего до 4-х колец 622 мбит/с.

Интерфейсные входы и выходы:

Трибные входы/выходы:

- ✓ Скорость передачи на входе 1,5; 2; 45 и 140 мбит/с по стандарту ITU-T Rec. G.703 или 155 и 622 мбит/с по стандарту ITU-T Rec. G.709
- ✓ Входной импеданс 75 Ом (коаксиальный); 120 Ом симметричный кабель.

Оптические входы/выходы:

- ✓ Длина волны 1310 нм – для коротких и средних длин секций; 1550 нм – для протяженных длин секций
- ✓ Максимально допустимые потери на секцию
STM-4 – 12/12/24 дБ для коротких/средних/длинных секций
STM-1 – 18/18/28 дБ.
 - ✓ Волоконно-одномодовое
 - ✓ Оптические соединители – FC; PC или DIN
 - ✓ Соответствует стандартам ITU-T Rec. G.709 и G.957

Электрические входы/выходы блоков с STM-1

- ✓ Линейный код CMI
- ✓ Входной импеданс 75 Ом
- ✓ Соответствует стандартам ITU-T Rec. G.703

SMA-4 заменой блоков легко может быть модифицирован в SMA-16 для работы на скорости 2,5 Гбит/с.

Лекция 20

Технические характеристики оборудования SDH.

Всё разнообразие выпускаемого оборудования для SDH сетей можно разбить на 5 основных групп:

- синхронные мультиплексоры SMUX (или SM);
- оборудование линейных трактов- SL;
- синхронные кросс-коммутаторы – SXC;
- синхронное радиорелейное оборудование – SR;
- системы управления оборудованием SDH – с самым разным названием.

Управление может быть локальным (местным) или удалённым. Как правило, управление осуществляется посредством PC. В самом оборудовании заложено необходимое программное обеспечение, поддерживающее общение с PC.

Обобщим некоторые термины, касающиеся технических характеристик оборудования SDH.

Каналы доступа трибных интерфейсных карт.

Трибные каналы доступа – это интерфейсы для подключения PDH и SDH потоков.

Для трибов PDH стандартный набор каналов 2; 34; 140 Мбит/с – соответствует европейской иерархии ECI, но не включает скорость 8 Мбит/с, т.к. он исключён из списка обязательных комитетом ETSI. Многие мультиплексоры для поддержки американской иерархии имеют ещё и трибные интерфейсы на 1.5 и 45 Мбит/с.

Для мультиплексоров уровня STM-1 SDH триб может быть электрическим (Rec. G. 703) или оптическим (Rec. G. 709). Для уровней STM-4;16 используют только оптические SDH трибы. Наличие однотипных трибов позволяет использовать мультиплексоры в качестве регенераторов и узлов соединения различных сетевых структур.

Число портов на трибной интерфейсной карте- это число физических портов (разъёмов), к которым можно подключить 2-х Мбит/с потоки, на одной карте (плате).

Современные мультиплексоры оснащаются картами со следующим числом 2-х Мбит/с портов.

STM-1 (всего у него должно быть 63 2-х Мбит/с