

Ю.А. Зингеренко

**ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ И СЕТЕЙ**

Конспект лекций



Санкт-Петербург

2005

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Ю.А. Зингеренко

**ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ И СЕТЕЙ**

Конспект лекций



Санкт-Петербург

2005

Зингеренко Ю.А. **Основы построения телекоммуникационных систем и сетей** / Конспект лекций. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2005. – 143 с.

Содержит основные вопросы построения систем и сетей связи различного назначения.

Предназначено для студентов старших курсов, обучающихся по специальности «Физика и техника оптической связи».

© Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2005

© Ю.А. Зингеренко, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	5
2. Архитектура взаимосвязанной сети связи (ВСС) РФ	6
2.1. Деление по ведомственной принадлежности	6
2.2. Деление по архитектуре	6
2.3. Деление по среде передачи	7
2.4. Взаимоуязванность сети связи реализуется следующими службами	7
3. Первичные электрические сигналы и их характеристики	8
4. Элементы теории телетрафика	16
4.1. Телефонная нагрузка	16
4.2. Качество обслуживания	18
4.3. Основы построения телефонной сети. Общие сведения	19
5. Принципы построения систем коммутации	20
6. Коммутация пакетов	28
7. Типовые каналы передачи и основные характеристики каналов	37
7.1. Понятие об уровнях передачи. Рабочее затухание (усиление)	38
7.2. Остаточное затухание канала	39
7.3. Частотная характеристика канала	40
7.4. Фазовая характеристика канала	42
7.5. Амплитудная характеристика	44
7.6. Коэффициент нелинейных искажений	44
7.7. Защищенность от помех	45
7.8. Организация двухсторонних каналов	47
7.9. Разделение во времени	51
8. Принципы построения систем передачи с частотным разделением каналов	51
8.1. Методы формирования и передачи канальных сигналов в СП с ЧРК	58
8.2. Линейный тракт систем передачи с ЧРК	65
8.3. Размещение усилителей. Накопление собственных помех	67
8.4. Коррекция линейных искажений в каналах и групповых трактах	71
8.5. Автоматическое регулирование уровней	74
8.6. Иерархическое построение МСП с ЧРК	76
8.6.1. Системы передачи по коаксиальным кабелям	76
8.6.2. Системы передачи по симметричным кабелям	82
9. Принципы построения СП с временным разделением каналов и импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ)	86
9.1. Основные особенности ЦСП	88
9.2. Оборудование цифровых систем передачи	89
9.3. Оборудование аналого-цифрового преобразования	91
9.4. Оборудование временного группообразования	93
9.5. Оборудование линейного тракта	94
9.6. Иерархия цифровых систем передачи	97
9.7. Особенности построения волоконно-оптических цифровых систем передачи	102

10. Сети подвижной связи	103
10.1 Сети сотовой подвижной связи	105
10.2 Сети транкинговой связи	114
10.3 Сети персонального радиовызова	116
10.4 Сети персональной спутниковой связи	118
11.Спутниковое телевидение	124
11.1 Принципы построения спутниковых систем связи	124
11.2 Спутниковое телевизионное вещание	125
11.3 Методы формирования и передачи спутниковых телевизионных сигналов	127
11.4 Цифровое телевидение	131
11.5 Стандарт MPEG	135
Литература	141

1. Введение

Несмотря на наличие значительного потенциала, в первую очередь, кадрового и образовательного, чем всегда славилась и сегодня сильна Россия, уровень распространения информационных технологий у нас ниже по сравнению с основными развитыми странами. Мы отстаем как по масштабу использования, так и по производству средств вычислительной техники и программного обеспечения. По количеству компьютеров на сто жителей у нас показатели ниже европейских в 5-6 раз. И хотя наблюдается быстрый рост количества пользователей Интернет, все равно этот сегмент остается небольшим и составляет лишь малую часть мировой сети – всего 1%. Вместе с тем рынок инфокоммуникаций России развивается очень динамично. Объем предоставляемых услуг электросвязи вырос за последний год на 40%.

Интенсивно развиваются новые виды информационных услуг, таких, как электронная торговля, дистанционное образование, справочные услуги. За год число пользователей Интернет выросло почти на полтора миллиона человек.

Сегодня мы понимаем те колоссальные преимущества, которые несет с собой развитие и распространение информационно-коммуникационных технологий. Инфокоммуникации обеспечивают реализацию прав граждан на доступ к достижениям цивилизации, к мировым информационным ресурсам, а также обеспечивают культурный обмен, дистанционное образование, телемедицину, электронную коммерцию.

Приоритетное развитие информатизации обеспечивается следующими условиями:



Рис.1.1. Приоритеты развития информатизации в РФ

Все эти условия являются важнейшей целью государственной политики России в сфере информационных технологий.

2. Архитектура взаимосвязанной сети связи (ВСС) РФ

2.1. Деление по ведомственной принадлежности

Взаимоувязанная сеть связи (ВСС) Российской Федерации по ведомственной принадлежности подразделяется на две большие группы: телефонную сеть общего пользования (ТФ ОП), которая курируется Министерством информатики и связи, и ведомственные сети связи. Телефонная сеть общего пользования принадлежит, в основном, АО Ростелеком, АО Связьинвест, областным АО Электросвязь и телефонным сетям крупных городов. Ведомственные сети связи принадлежат различным министерствам и ведомствам, таким, как Министерство путей сообщения (МПС), АО Транстелеком, АО Газпром, АО Связьтранснефть, АО Телекомнефтепродукт, РАО Единые энергосистемы, Министерство обороны РФ, Федеральное агентство правительственной связи и информатики.

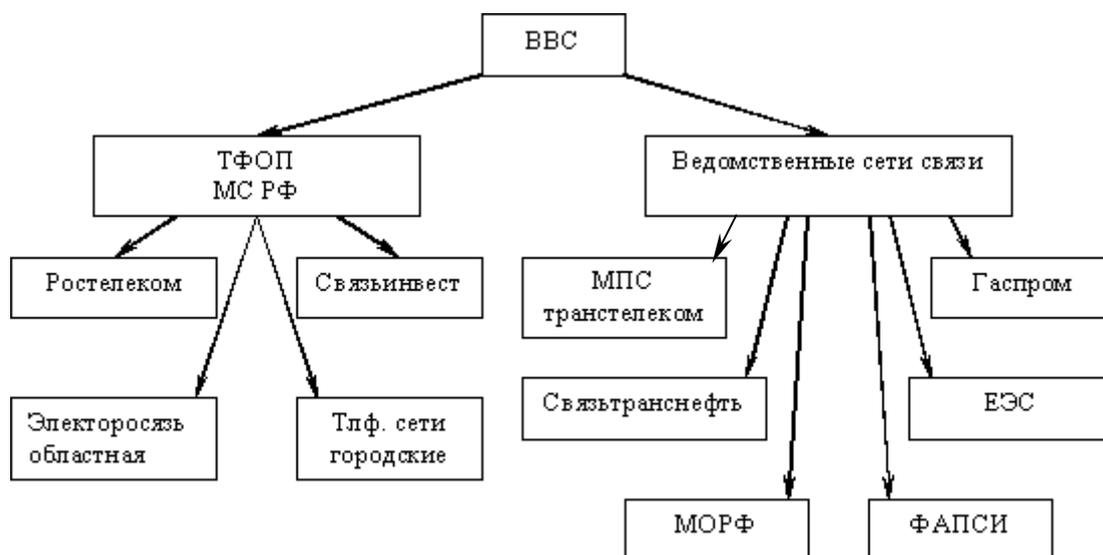


Рис.2.1. Деление ВСС по ведомственной принадлежности

2.2. Деление по архитектуре

По архитектуре ВСС подразделяется на магистральные (междугородные и международные), зонавые (внутриобластные), местные (городские и сельские) и локальные (внутриобъектовые) линии связи.

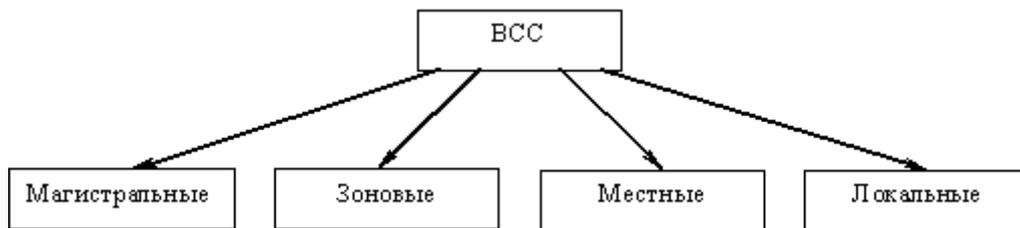


Рис.2.2. Деление ВСС по архитектуре

2.3. Деление по среде передачи

По среде передачи ВСС можно разделить на кабельные (волоконно-оптические и по медным кабелям), радиорелейные, спутниковые, мобильные и арендованные, т.е. организованные по арендованным каналам линии и сети связи.

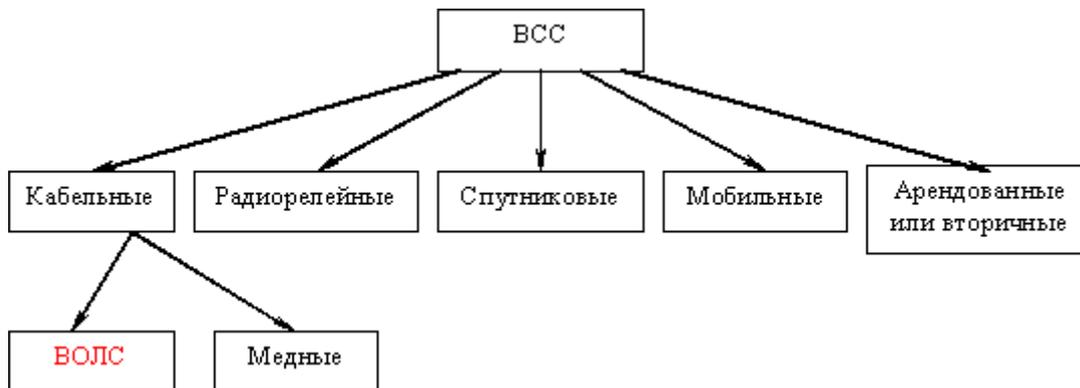


Рис.2.3. Деление ВСС по среде передачи

2.4. Взаимоуязванность сети связи реализуется следующими службами

А) Госсвязьнадзор обеспечивает:

- Надзор и контроль за лицензируемой деятельностью в области электросвязи;
- Инспектирование технологического состояния сетей и средств связи;
- Проведение экспертиз при вводе в эксплуатацию;
- Планирование и назначение радиочастот в пределах выделенных диапазонов;
- Международную координацию;

Б) Центр сертификации при МС РФ обеспечивает:

- Выдачу сертификатов на оборудование систем связи с проверкой на соответствие международным (международного союза электросвязи МСЭ) и Российским стандартам.

В) Государственная комиссия по радио частотам при МС обеспечивает:

- Выделение диапазонов частот.

Г) ФАПСИ при Президенте РФ обеспечивает:

- Лицензирование и сертификацию в области защиты информации с целью обеспечения информационной безопасности РФ.

3. Первичные электрические сигналы и их характеристики

В соответствии с определением, принятым в теории информации, сигнал есть материальный носитель информации. В системах связи сигнал представляет собой процесс изменения во времени и в пространстве некоторой физической величины, характеризующей передаваемое сообщение. Так, например, при разговоре (акустическая связь) переносчиком информации служит звуковое поле; изменение звукового давления, характеризующее передаваемое сообщение, является в этом случае сигналом. В системах электрической связи сигналы представляют собой электромагнитные процессы, параметры которых изменяются в соответствии с передаваемым сообщением. Например, мгновенное значение тока в цепи микрофона пропорционально звуковому давлению; микрофон преобразует акустические сигналы в электрические и, таким образом, дает возможность передавать звуковые сообщения по кабелям электрической связи.

В процессе передачи сигнал подвергается ряду преобразований, важнейшими из которых являются модуляция и кодирование и обратно – демодуляция и декодирование. В импульсных и цифровых системах связи сигналы подвергаются дискретизации. При передаче по каналу связи сигналы претерпевают искажения, связанные с несовершенством устройств, входящих в канал, и маскируются помехами. Система связи должна быть построена так, чтобы, несмотря на искажения и помехи, возникающие при передаче сигналов, было бы возможно восстановление исходного сообщения с необходимой степенью точности. Чтобы выполнить это условие, при построении систем связи необходимо знать основные характеристики сигналов, соответствующие различным сообщениям.

В системе электрической связи важную роль играют первичные преобразователи, превращающие сообщения источника в электрические сигналы. При передаче телефонных сообщений и звуковом вещании первичными преобразователями служат микрофоны, в телеграфии – телеграфные аппараты, при передаче изображений в факсимильной связи и телевидении – устройства электрооптического анализа. Сигналы, формируемые первичными преобразователями, называются первичными сигналами.

Ясно, что свойства первичных сигналов в значительной мере определяют требования к системам связи. Подходящей математической моделью для описания сигналов связи являются случайные процессы; свойства случайных процессов характеризуются n -мерной функцией распределения и тем точнее, чем больше n . Однако, практическое определение многомерных функций распределения связано с чрезвычайными трудностями, поэтому в большинстве случаев для описания сигналов пользуются понятием энергетического спектра и некоторыми числовыми характеристиками. К ним относятся:

- Полоса частот, необходимая для передачи сигнала с допустимыми искажениями, Δf (часто ее называют эффективной полосой)
- Мощности сигнала – пиковая или максимальная P_{\max} , средняя $P_{\text{ср}}$ и минимальная P_{\min} .

В качестве энергетических характеристик сигналов часто используют понятия динамического диапазона

$$D = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}, \text{ дБ} \quad (3.1)$$

и пикфактора

$$\nu = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\text{ср}}}, \text{ дБ}. \quad (3.2)$$

Рассмотрим характеристики первичных сигналов.

Телефонные (речевые) сигналы

Звуки речи представляют собой сложные звуковые колебания, следовательно, первичные сигналы, формируемые микрофоном, также очень сложны.

Спектр звуков речи содержит колебания с частотами от 70-80 до 8000-20000 Гц. Однако основная мощность речевых сигналов сосредоточена в полосе частот от 150 до 1500-2000 Гц. В результате действия резонирующих полостей речеобразующего тракта человека (полости рта и носа) в спектре звуков создаются области повышенной интенсивности, называемые формантами. Большая часть формантных областей расположена в диапазоне частот от 300 до 3000 Гц.

Ограничение спектра речевых сигналов приводит к ухудшению качества принимаемой речи – искажается тембр, теряется естественность и узнаваемость, снижается разборчивость. Экспериментальные исследования показали, что вполне удовлетворительное качество речи получается при передаче в полосе частот от 250-300 до 3300-3500 Гц. Поэтому полоса эффективно передаваемых частот стандартного канала тональной частоты находится в пределах от 300 до 3400 Гц.

Мощность разговорных звуков изменяется в очень широких пределах от 0,01мкВт при шепоте до 10000мкВт при крике. Средняя мощность речи при нормальном разговоре с учетом пауз между словами и фразами равна приблизительно 10мкВт. Таким образом, при учете всех возможностей речи динамический диапазон речевых сигналов оказывается чрезвычайно большим $D = 55$ дБ, $\nu = 27,5$ дБ.

Однако при расчете каналов телефонной связи не следует ориентироваться на необходимость передачи сигналов с таким большим динамическим диапазоном, т.к. это связано с серьезными техническими трудностями. Кроме того, исследования показывают, что в большинстве случаев динамический диапазон речи значительно меньше. Так, например, при плавном разговоре со средним уровнем громкости пикфактор не превосходит величины $\nu = 14-18$ дБ. Поэтому, при передаче речевых сообщений принимают динамический диапазон равным 23-27 дБ.

Кроме речевого сигнала телефонная система передачи должна передавать специальные сигналы управления и взаимодействия СУВ на другой конец связи. По цепи между телефонной станцией и абонентом передаются следующие сигналы: постоянным током для дистанционного управления, образующиеся снятой и лежащей на месте телефонной трубкой, импульсы или частоты набора номера, а также сигнала вызова переменным током.

Эту информацию на центральной станции преобразуют для передачи по специальным сигнальным проводам, называемым проводами Е и М (Е & М сигнализация). Сигналы, передаваемые постоянным током по проводу М с вызывающей станции, поступают в провод Е на вызываемой станции и наоборот.

Адресация или указание номера вызываемого абонента производится вызывающим абонентом. Это делается, в основном, двумя способами – набирая номер диском телефонного аппарата или расположенном на нем кнопками. При наборе номера диском телефонного аппарата обрывается токовая цепь между абонентом и телефонной станцией. При наборе номера кнопками передаются либо импульсы определенной частоты, либо тональные частоты.

Сигналы акустического вещания

Спектр сигналов возникающих при исполнении вокальных и инструментальных музыкальных произведений, расположен в полосе частот от 16 до 15000-20000 Гц. Однако, в зависимости от требования к качеству воспроизведения полоса частот, необходимая для передачи сигналов акустического вещания, может быть ограничена. Так, для каналов первого класса - от 50 до 10000 Гц и для каналов высшего класса от 30 до 15000 Гц.

Динамический диапазон сигналов акустического вещания чрезвычайно велик. Так, динамический диапазон симфонического оркестра достигает 100 дБ, т.е. максимальная мощность сигнала больше минимальной в 10^{10} раз. Передать по линии сигнал с таким динамическим диапазоном чрезвычайно трудно – потребуется очень мощная дорогостоящая аппаратура. Поэтому, не снижая заметно качества передачи, ограничивают динамический диапазон сигналов

вещания величиной 40 дБ для каналов первого класса и 50 дБ для каналов высшего класса.

Сигналы телевизионного вещания

Полный телевизионный сигнал черно-белого телевидения состоит из сигналов изображения, синхронизации и гашения обратного хода луча приемной трубки по строкам и кадрам. Сигналы синхронизации содержат синхронизирующие импульсы строчной и полукадровой частоты и уравнивающие импульсы.

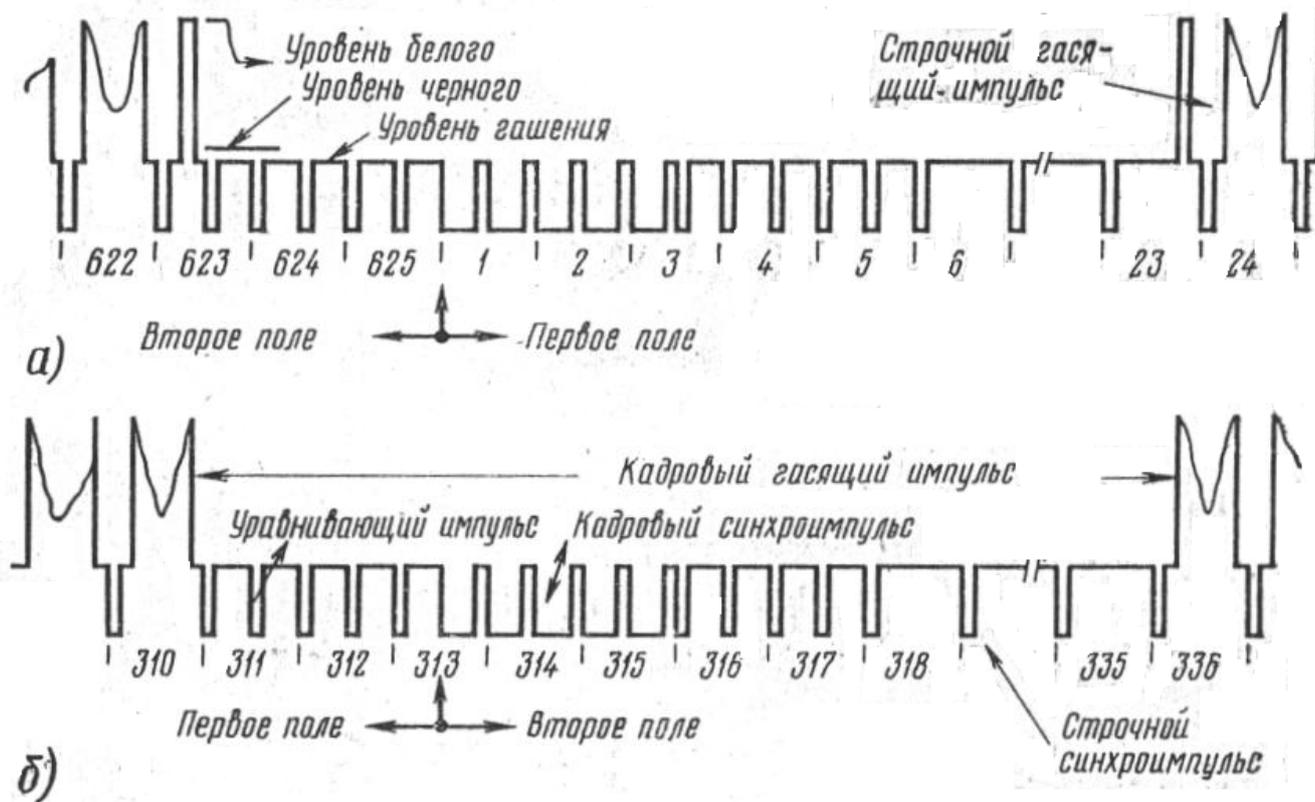


Рис.3.1. Стандартные телевизионные видеосигналы:

- а) В начале каждого первого поля,
- б) В начале каждого второго поля.

Отечественный стандарт на черно-белое телевидение предусматривает передачу 25 кадров в секунду. Каждый кадр составляется из двух полей (полукадров). Число строк в кадре – 625. Развертка изображения чересстрочная, т.е. поля с нечетными строками и поля с четными строками передаются поочередно. Это позволяет ослабить визуальный эффект мерцания воспроизводимого изображения без увеличения числа элементов изображения, передаваемых за одну секунду. Отношение ширины кадра к его высоте (формат кадра) равна 4:3. Развертка изображения осуществляется по строкам слева на право и по полукадрам сверху вниз. Номинальное значение частоты строчной развертки $f_c = 15625$ Гц, а частоты полей 50 Гц. Во всех точках соединения по видеочастоте в трактах передачи телевидения номинальный размах полного видеосигнала должен

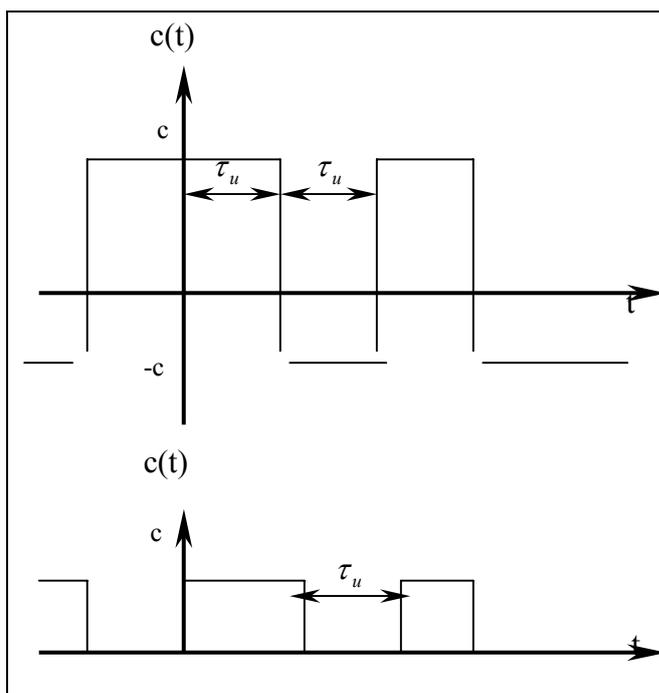
составлять 1 В. Время передачи одной строки $T_c=64$ мкс. Длительность строчных импульсов гашения 12 мкс, а синхронизирующих 4,7 мкс. Импульсы синхронизации передаются ниже уровня черного. Введение уравнивающих импульсов (частота следования $2f_c$, а длительность 2,35 мкс) и нескольких кадровых синхронизирующих импульсов (один широкий, разделенный врезками на пять) обеспечивает идентичные условия работы устройств синхронизации полукадров при передаче четных и нечетных строк и непрерывность работы строчной синхронизации во время полукадровых импульсов.

В современных системах цветного телевидения многоцветное изображение разделяется на три одноцветных, называемых цветоделенными. Они соответствуют основным цветам: красному R, зеленому G и синему B. Однако, передаются не сигналы, соответствующие этим трем цветам, а сигналы яркости и цветности изображения, образуемые из этих трех сигналов. Сигнал яркости создает нормальное черно-белое изображение и обеспечивает передачу необходимого числа градаций яркости передаваемого изображения. Он получается путем сложения в определенном соотношении сигналов основных цветов. Цветность изображения передается с помощью двух цветоразностных сигналов. Таким образом, обеспечивается совместимость черно-белого и цветного телевидения.

Системы ЦТВ – NTSC, PAL и SEKAM отличаются главным, образом, способом модуляции цветовой поднесущей частоты цветоразностными сигналами. Ширина видеоканала 6 МГц, расстояние между несущими звука и изображения 6,5 МГц, ширина радио канала телевизионного вещания 8 МГц.

Сигналы передачи данных

Сигналы передачи данных обычно имеют вид последовательностей двуполярных или однополярных прямоугольных импульсов.



Сигналы такой формы называют двоичными. Длительность импульсов τ_u определяется скоростью передачи V , измеряемой в бит/с (число символов в секунду). Вводится понятие тактовой частоты $F_m = \frac{1}{\tau_u}$, которая численно равна скорости передачи.

Рис.3.2. Двоичные импульсы передачи данных

Вероятность появления положительных $p(+C)$ и отрицательных $p(-C)$ импульсов, а также статистические связи между импульсами определяются свойствами источника информации. Часто $p(+C)=p(-C)=0,5$ и импульсы последовательности статистически независимы.

Энергетический спектр такого сигнала

$$\Phi(\omega) = c^2 \frac{\tau_u}{\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\omega \tau_u}{2}}{\frac{\omega \tau_u}{2}}. \quad (3.3)$$

Подставляя $\omega = 2\pi \cdot f$ и $\tau_u = \frac{1}{F_m}$ и обозначая нормированный спектр

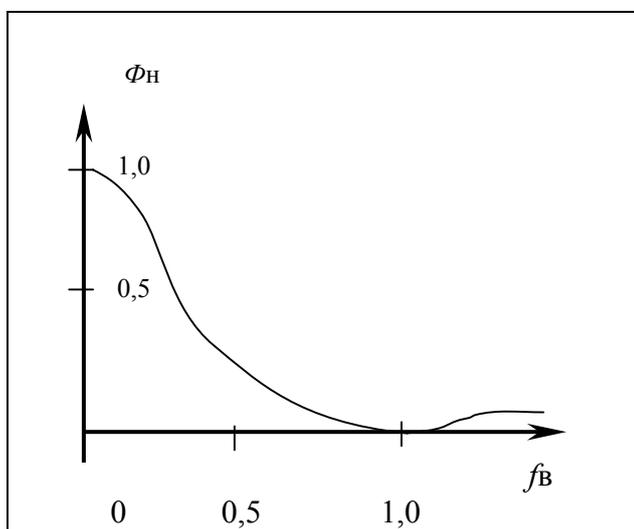
$$\uparrow \Phi_n(f/F_m) = \Phi(f/F_m) \frac{\pi}{c^2} \frac{1}{\tau_u},$$

получим

$$\Phi_n\left(\frac{f}{F_m}\right) = \frac{\sin \pi f/F_m}{\pi f/F_m}. \quad (3.4)$$

Определим минимальную полосу частот, ΔF , необходимую для передачи сигнала данных.

Выражение для $\Phi(\omega)$ показывает, что для неискаженной передачи последовательности прямоугольных импульсов необходима бесконечно широкая полоса частот, т.к. спектральная плотность сигнала не равна нулю на всей оси частот.



Следует, однако, иметь ввиду, что при передаче двоичных сигналов в приемнике нет необходимости восстанавливать импульсы без искажений, т.е. сохранять их прямоугольную форму.

Рис.3.3. Энергетический спектр сигнала передачи данных

Для восстановления информации достаточно зафиксировать только знак импульса при двухполярном сигнале, либо наличие или отсутствие импульсов при однополярном.

Исходя из этого, будем решать задачу определения величины ΔF .

Пусть на вход идеального фильтра низких частот ФНЧ с частотной характеристикой

$$K(\omega) = \begin{cases} 1 & \text{при } |\omega| \leq \omega_c \\ 0 & \text{при } |\omega| > \omega_c \end{cases} \quad (3.5)$$

подаются последовательность из двух прямоугольных импульсов $f_1(t)$ (Рис.3.4).

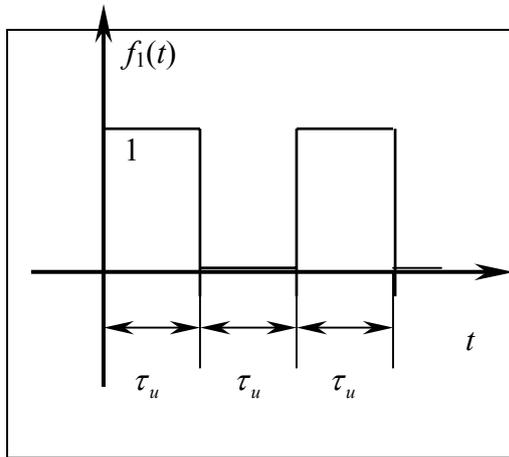


Рис.3.4.

Найдем сигнал на выходе фильтра $F_2(t)$ при различных значениях частоты среза $\omega_c = 2\pi \cdot f_c$.

Сигнал $f_1(t)$ можно представить аналитически в виде $f_1(t) = \sigma(t) - \sigma(t - \tau_u) + \sigma(t - 2\tau_u) - \sigma(t - 3\tau_u)$, где $\sigma(t)$ - единичный скачок.

$$\sigma(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t > 0 \end{cases}. \quad (3.6)$$

Известно, что скачок на выходе идеального фильтра при подаче на его вход единичного скачка определяется выражением

$$h(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} Si \omega_c t, \quad (3.7)$$

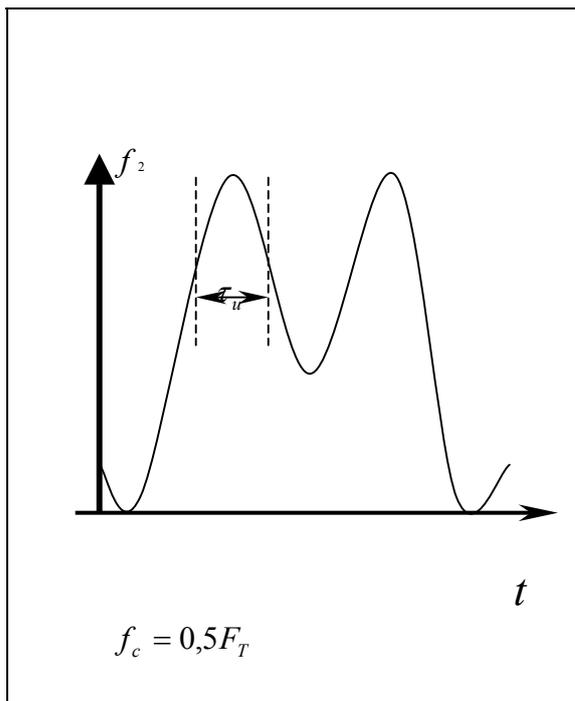
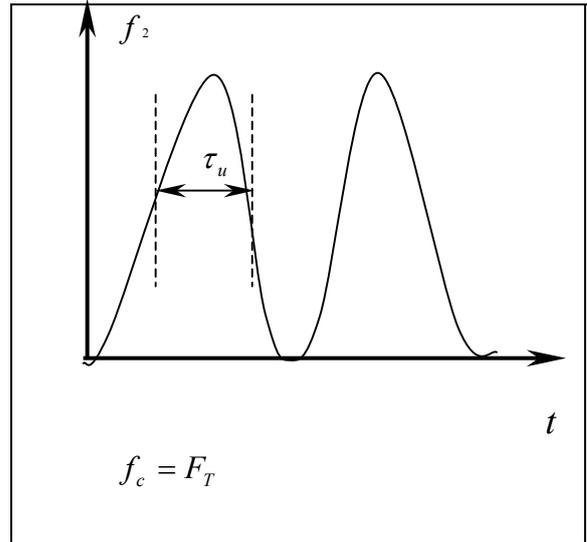
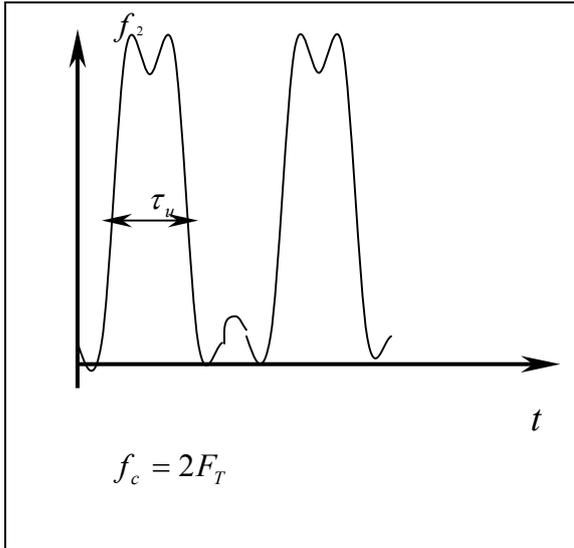
где $Si z = \int_0^z \frac{\sin x}{x} dx$ - интегральный синус.

Используя принцип суперпозиции, найдем $f_2(t)$ на выходе идеального фильтра

$$f_2(t) = \frac{1}{\tau} [Si \omega_c t - Si \omega_c (t - \tau_u) + Si \omega_c (t - 2\tau_u) - Si \omega_c (t - 3\tau_u)]. \quad (3.8)$$

На рис.3.9 представлены графики функции $f_2(t)$ при различных значениях частоты среза ω_c . Как видно наличие или отсутствие импульсов можно уверенно зафиксировать при $f_c = \frac{1}{2\tau_u} = 0,5F_T = 0,5B$.

Таким образом, если частотные характеристики канала связи приближаются к характеристикам идеального ФНЧ, то эффективная полоса частот двоичного сигнала составляет $\Delta F = 0,5F_T$. При наличии частотных искажений в реальных каналах приходится несколько расширять полосу частот, отводимую для передачи импульсных сигналов. Часто принимают $\Delta F = F_T - B$.



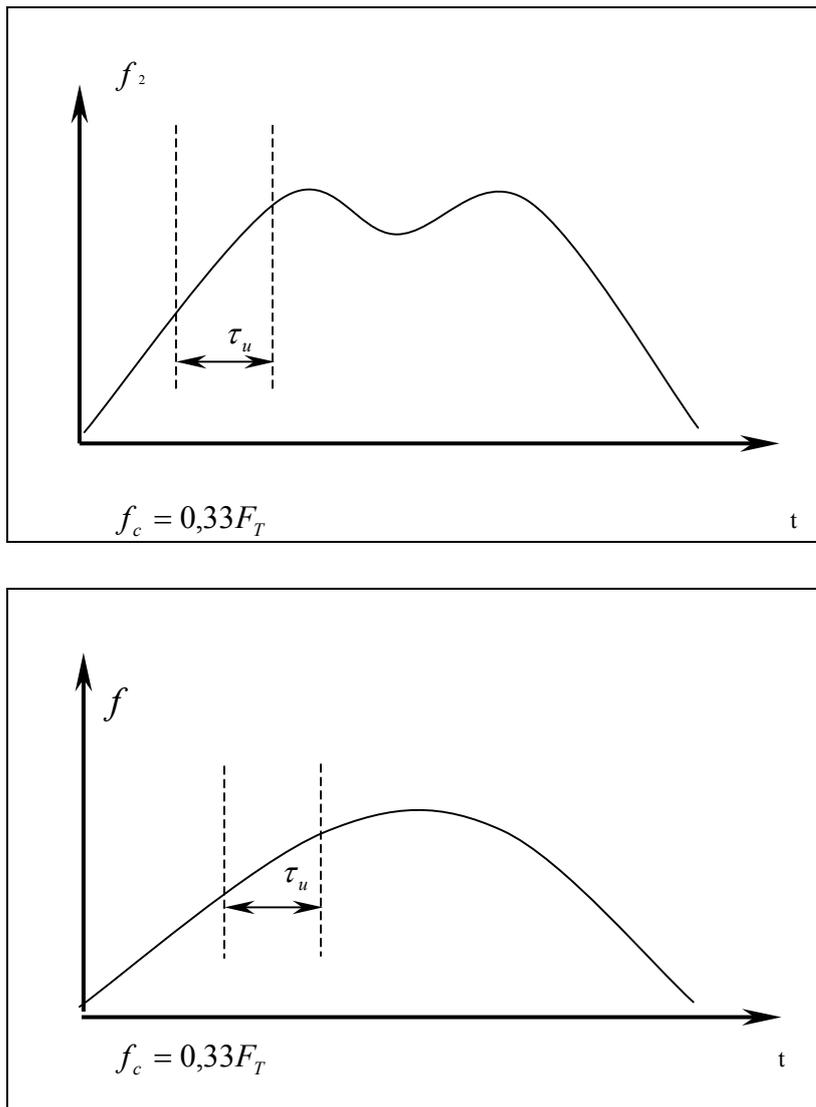


Рис.3.9. Вид $f_2(t)$ при различных значениях частоты среза

4. Элементы теории телетрафика

4.1. Телефонная нагрузка

Для рационального построения и расчёта коммутационных систем надо знать характеристики потока вызовов, продолжительность занятия соединительных линий и время обслуживания. Все эти характеристики являются случайными величинами, подчиняющиеся законам теории массового обслуживания.

Если на коммутационную систему поступает простейший поток вызовов с интенсивностью, например, $\mu = 600$ выз/час, то это лишь означает, что в среднем

за час поступает 600 вызовов. Длительность же обслуживания коммутационной системой поступающих вызовов не зависит от интенсивности потока. Так, если среднее время обслуживания одного вызова $h=1/60$ час, то для обслуживания 600 вызовов потребуется $600 \cdot 1/60=10$ час суммарного времени при последовательном обслуживании одного вызова за другим, или при $h=1/30$ час для обслуживания этого же потока потребуется 20 час суммарного времени.

Вызовы можно обслуживать не только последовательно один за другим, но и параллельно-одновременно несколькими, например, 10 соединительными линиями. При этом для обслуживания потока $\mu=600$ выз/час при $h=1/60$ час потребуется 1 час полного занятия десяти соединительных линий в течение этого часа. Однако из-за случайного скопления того или иного числа вызовов и случайного характера продолжительности занятия линий для качественного обслуживания рассматриваемого потока их потребуется значительно больше. Из рассматриваемого примера следует, что суммарное время обслуживания является немаловажной характеристикой. Суммарное время занятия соединительных путей коммутационной системы за определенный промежуток времени называется телефонной нагрузкой. Различают: поступающую, обслуженную и потерянную телефонные нагрузки.

Обслуженной телефонной нагрузкой $Y_0(t_1; t_2)$ за промежуток времени $[t_1; t_2)$ называется суммарное время занятия всех V соединительных путей коммутационной системы за этот промежуток времени.

Таким образом,

$$Y_0(t_1; t_2) = \sum_{i=1}^V y_{0i}(t_1; t_2), \quad (4.1)$$

где $y_{0i}(t_1; t_2)$ – суммарное время занятия i -го ($1 \leq i \leq V$) соединительного пути коммутационной системы.

Поступающей телефонной нагрузкой $Y(t_1; t_2)$ за промежуток времени $[t_1; t_2)$ называется нагрузка, которая была бы обслужена, если бы каждому поступившему вызову был тотчас предоставлен один из соединительных путей коммутационной системы и соединение доведено до конца, т.е.

$$Y(t_1; t_2) = \sum_{i=1}^{V^*} y^*_i(t_1; t_2), \quad (4.2)$$

где $y^*_i(t_1; t_2)$ – суммарное время занятия i -го соединительного пути коммутационной системы без отказов. Здесь $V^* = \infty$, поскольку каждый поступивший вызов должен быть немедленно обслужен.

Потерянной телефонной нагрузкой $Y_{II}(t_1; t_2)$ за промежуток времени $(t_1; t_2)$ называется часть поступающей телефонной нагрузки, не обслуженная из-за отсутствия свободных соединительных путей в коммутационной системе, т.е.

$$Y_{II}(t_1; t_2) = Y(t_1; t_2) - Y_0(t_1; t_2). \quad (4.3)$$

Размерность телефонной нагрузки – время. Чтобы подчеркнуть, что величина нагрузки складывается из промежутков времени, соответствующих отдельным занятиям, за единицу измерения телефонной нагрузки принято часо-занятие. Одно часо-занятие – это такая нагрузка, которая может быть обслужена одним соединительным устройством при его непрерывном занятии в течение одного часа. Телефонная нагрузка не является по времени величиной постоянной. Она изменяется по месяцам, дням недели и часам суток. Чтобы коммутационное оборудование оказалось в состоянии обслужить нагрузку, расчёт её объёма следует производить исходя из нагрузки в тот час, когда она является наибольшей. Непрерывный 60-мин. промежуток суток, в течении которого нагрузка максимальна, называется часом наибольшей телефонной нагрузки ЧНН.

Математическое ожидание нагрузки в единицу времени (обычно за час) называется интенсивностью нагрузки. Для стационарных потоков интенсивность нагрузки можно определить из выражений

$$Y = h \sum_{i=1}^{\infty} iP_i^* \quad \text{и} \quad Y_0 = h \sum_{i=1}^{\infty} iP_i, \quad (4.4)$$

где h - среднее время одного занятия, а P_i, P_i^* - вероятность занятия i соединительных путей в коммутационной системе из общего числа V и V^* ($V^* = \infty$).

За единицу измерения интенсивности телефонной нагрузки принят эрланг. 1 эрланг – это такая интенсивность нагрузки, при которой в течение одного часа будет обслужена нагрузка в одно часо-занятие. 1 Эрл = 1 ч-зан/час. В общем случае интенсивность нагрузки, выраженная в эрлангах, равна среднему числу одновременных занятий в течении определенного промежутка времени.

4.2. Качество обслуживания

В системах телефонной коммутации могут применяться два типа обслуживания телефонных вызовов- без потерь и с потерями телефонного сообщения. При обслуживании без потерь всем поступившим вызовам немедленно предоставляется требуемое соединение. Реальная коммутационная система по экономическим соображениям в большинстве случаев проектируется в режиме с потерями сообщения и повторными вызовами.

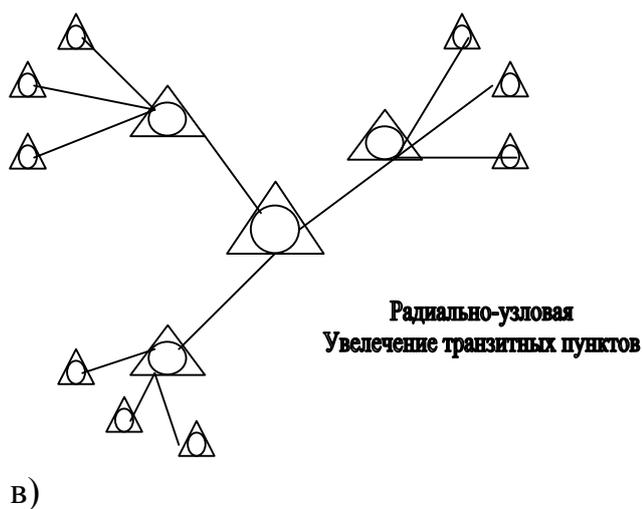
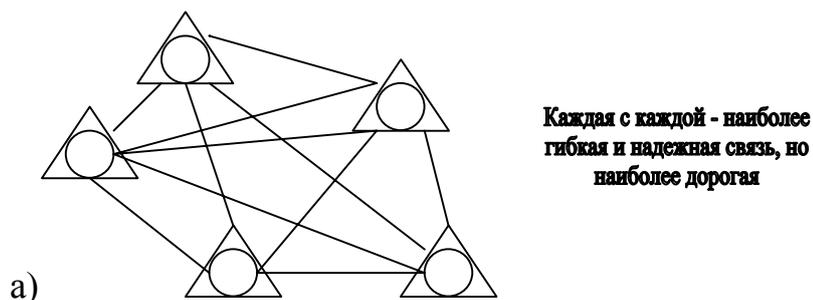
Для оценки качества обслуживания телефонных вызовов с повторными вызовами различают следующие характеристики: вероятность потерь первичного вызова p , вероятность повторного вызова n , среднее число попыток Q получения установленного соединения.

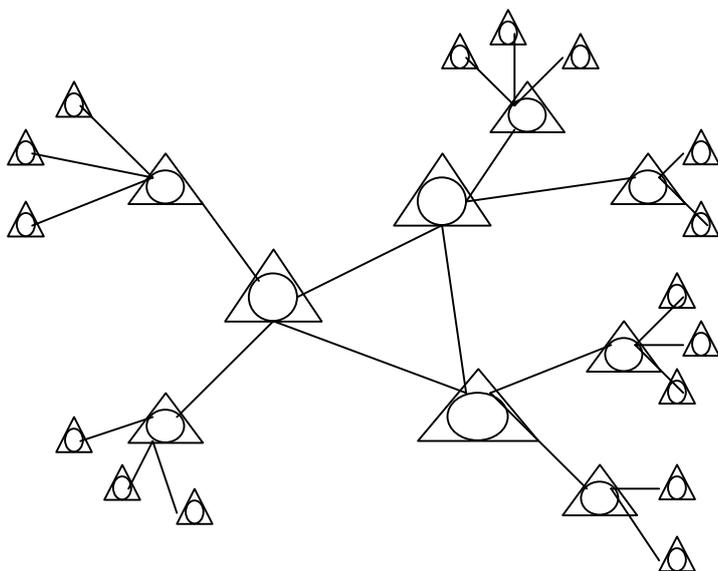
Характеристики качества обслуживания влияют на пропускную способность коммутационной системы. Под пропускной способностью коммутационной системы понимают интенсивность обслуженной этой системой нагрузки при заданном качестве обслуживания.

4.3. Основы построения телефонной сети. Общие сведения

Сетью телефонной связи называется совокупность узлов коммутации (телефонных станций), конечных абонентских устройств и соединяющих их каналов и линий связи.

Различают телефонные сети следующих видов: междугородные, зонавые, городские и сельские. Телефонная сеть может быть построена по одному из следующих способов, определяющих связь между ее узлами: “каждая с каждой”, радиальная, радиально-узловая и комбинированная.





**Комбинированный - более надежный,
т.к. центральные узлы - каждый с каждым**

г)

Рис. 4.1. Примеры реализации телефонной сети

5. Принципы построения систем коммутации

Сигналы, передаваемые по системам передачи, коммутируются в узлах сети связи в аналоговой или цифровой форме. Коммутация сигналов в аналоговой форме производится широко известными методами – с помощью оборудования декадно-шаговых, координатных или квазиэлектронных АТС. В этом случае в узле связи при передаче сигналов в цифровой форме необходимо осуществлять дополнительные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразования сигналов, что увеличивает мощность шумов в телефонном канале. Коммутация сигналов в цифровой форме не требует осуществления дополнительных цифро-аналоговых и аналогово-цифровых преобразований и может осуществляться с помощью электронного оборудования без применения механических контактов. Поэтому цифровая коммутация практически не ухудшает параметров телефонных каналов и позволяет наиболее полно реализовать преимущества цифровых методов передачи. Рассмотрим основные принципы цифровой коммутации телефонных сигналов и возникающие при этом специфические требования к оборудованию цифровых систем передачи.

В технике цифровой коммутации используются два вида коммутационных устройств – с временным и пространственным разделением коммутируемых каналов. При временном разделении одно коммутационное устройство (электронный контакт) последовательно используется для коммутации нескольких каналов. При пространственном разделении коммутационное устройство

закрепляется за определенным каналом в течении всего времени соединения. Цифровые сети, в основном, используют принцип временного разделения коммутируемых сигналов.

Временное уплотнение коммутирующих устройств резко снижает объем коммутационного оборудования – число электронных контактов может быть уменьшено в 10-20 раз в зависимости от емкости. Кроме того, при временном разделении коммутируемых каналов возможна интеграция оборудования систем передачи и коммутации сигналов. Это достигается путем использования каналообразующего оборудования многоканальных систем передачи с временным разделением каналов ВРК для образования коммутационного поля.

Принцип построения коммутационного оборудования с ВРК иллюстрирует структурная схема узла коммутации малой емкости – до 200 коммутируемых каналов. К центру коммутации подключены m входящих и m исходящих соединительных линий (ВСЛ и ИСЛ). Число каналов в каждой линии равно M .

При установлении соединения необходимо выделить определенный канал из группового потока входящей линии и подключить его в коммутационном поле к любому свободному каналу исходящей линии соответствующего направления.

В блок управления узла коммутации через выделители служебных сигналов (ВСС) поступают сигналы управления и взаимодействия (СУВ), несущие информацию о номере вызываемого абонента, цикловой синхронизации входящего потока (несущие информацию о положении коммутируемого канала в цикле передачи), а также сигналы о состоянии каналов в исходящих соединительных линиях. По принимаемым сигналам формируются импульсные последовательности, управляющие работой узлов коммутационного оборудования.

Многоканальный сигнал входящей соединительной линии через соответствующий распределитель записывается в регистры входного запоминающего устройства $ZU_{вх}$. Число регистров равно числу каналов, а количество ячеек памяти в каждом регистре равно числу разрядов n в кодовой группе одного канала. Следовательно, для обработки сигнала, поступающего по одной соединительной линии емкость $ZU_{вх}$ равна числу кодовых символов в цикле ЦСП входящей соединительной линии M_n . С помощью электронных контактов $ЭК_a$, замыкаемых импульсными последовательностями с выходов блока управления, сигналы отдельных каналов объединяются в групповой цифровой поток.

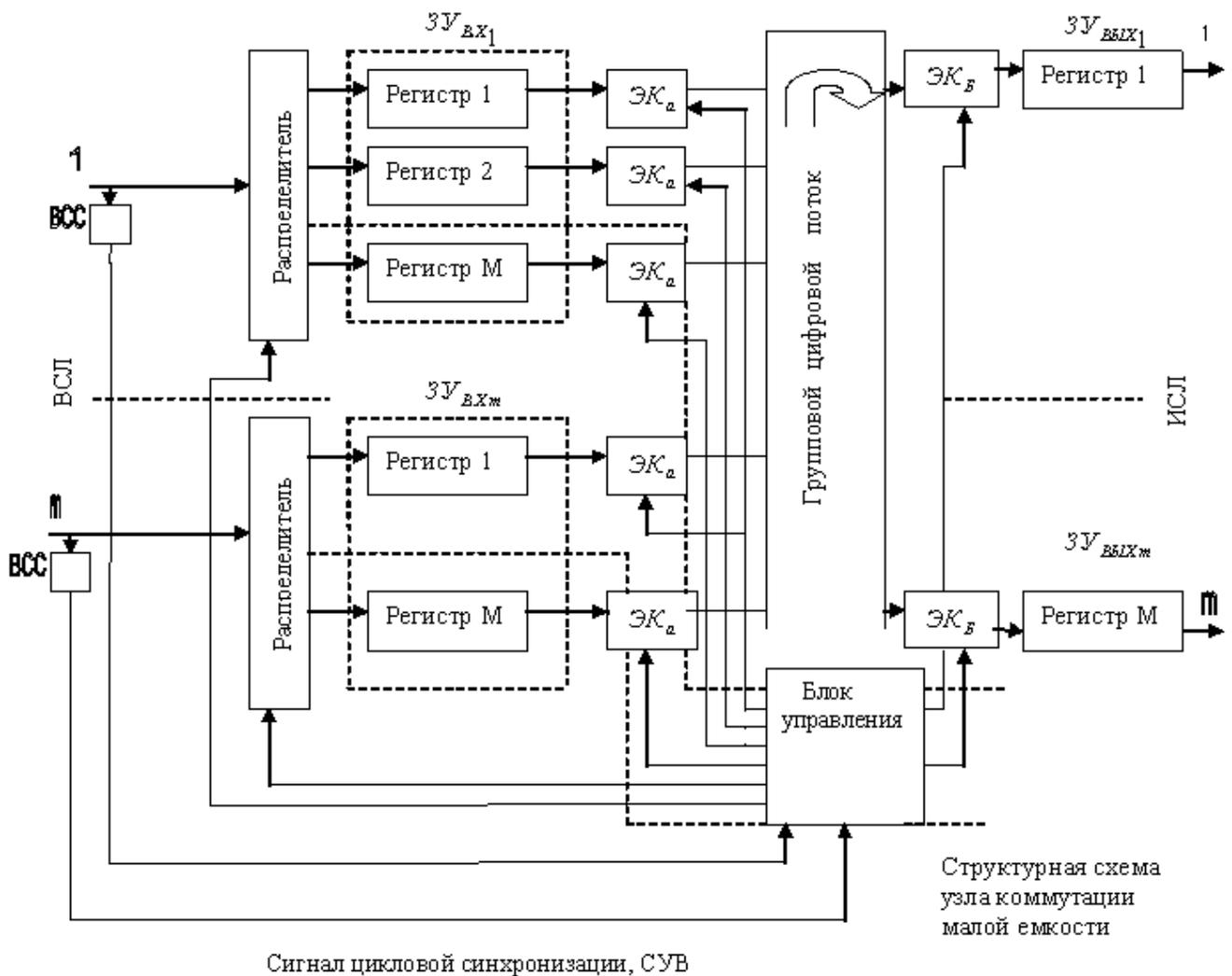


Рис.5.1. Структурная схема узла коммутации малой емкости

Управляющие последовательности , поступающие на контакты $ЭК_a$, сфазированы таким образом, чтобы в групповом цифровом потоке в результате поканального объединения сформировалась следующая последовательность кодовых групп: 1-ый канал 1-ой системы, 1-ый канал 2-ой системы, ... 1-ый канал m -ой системы, 2-ой канал 1-ой системы, ... M -ый канал m -ой системы. Номера каналов и систем соответствуют исходящим соединительным линиям. С помощью электронных контактов $ЭК_b$ кодовые группы отдельных каналов записываются в регистры запоминающих устройств соответствующих исходящих линий $ЗУ_{вых}$. Сигналы из регистров $ЗУ_{вых}$ считываются в исходящую соединительную линию. Оперативная память на входах и выходах коммутационного оборудования $ЗУ_{вх}$ и $ЗУ_{вых}$ повышает доступность каналов, сохраняя информацию входящего канала до момента времени, соответствующего свободному каналу требуемого направления, а также выравнивает временные положения каналов различных входящих линий.

В узлах коммутации большой емкости объединение сигналов всех входящих линий в единый групповой поток приводит к чрезвычайно высокой

скорости этого потока, которая не может быть обеспечена при реальных скоростях работы коммутационных элементов. Поэтому в таких узлах используется параллельная передача кодовых групп в коммутационном поле, а также его многоступенчатое построение.

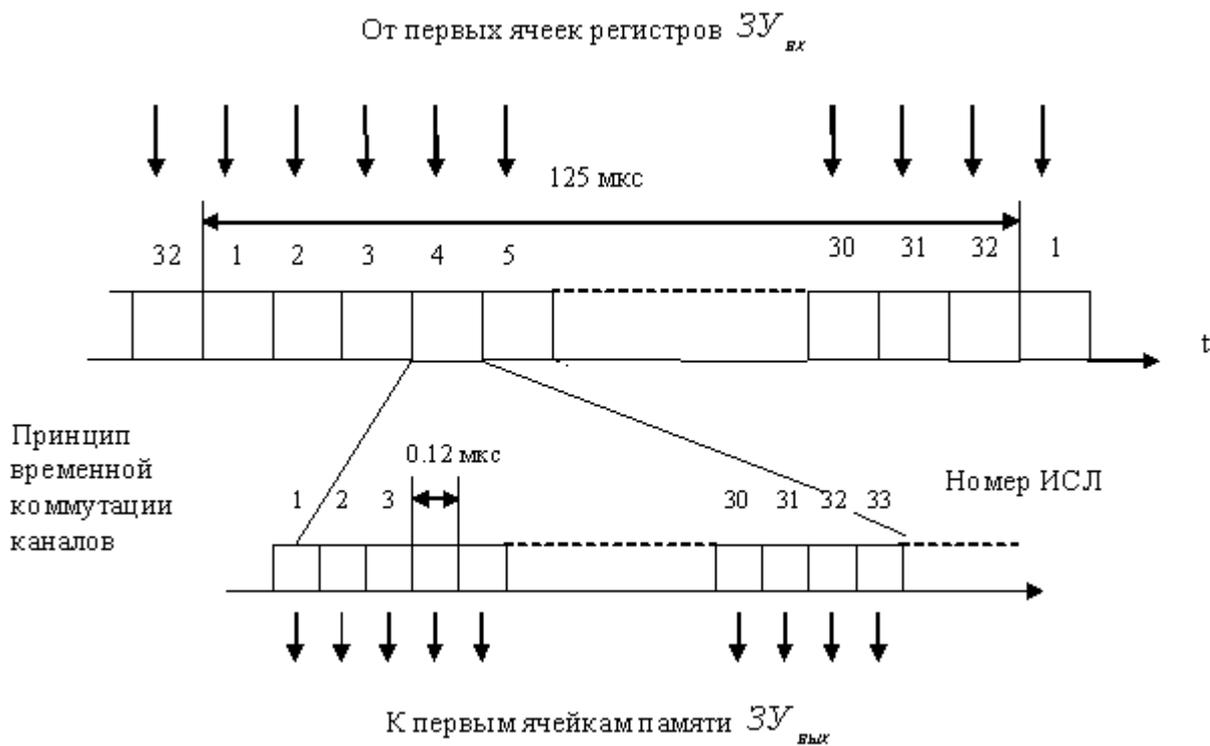


Рис.5.2. Принцип временной коммутации каналов

Многоканальный сигнал каждой из 32 входящих соединительных линий распределяется по регистрам $3U_{BX}$. С помощью восьми (по числу разрядов в кодовой группе) электронных контактов $\mathcal{E}K_a$ одновременно формируются восемь групповых цифровых потоков, в которых последовательно передаются одноименные кодовые импульсы входящих каналов.

Интервал подключения одного входящего канала к групповому тракту – время замыкания $\mathcal{E}K_a$ - равен длительности канального интервала в цикле передачи входящего 30 кан. потока (4 мкс). Этот интервал делится на 33 временных промежутка. Один из этих промежутков предназначается для операции записи и считывания в $3U_{BX}$, остальные отводятся на передачу сигнала в одном из 32 возможных исходящих направлений через $\mathcal{E}K_b$. Число коммутируемых исходящих линий ограничивается скоростью работы ячеек памяти $3U$. Для реализации поля, обеспечивающего доступ к 32 исходящим линиям (1024 исходящим каналам), частота записи и считывания должна быть равна $8 \times 32 \times 33 = 8448$ кГц.

Сигналы, разделенные во времени при передаче по многоканальным соединительным линиям, перед коммутацией разделяются в пространстве с

помощью регистров оперативной памяти. Алгоритм коммутации цифровых каналов при пространственном разделении подобен алгоритму коммутации аналоговых сигналов в системах квазиэлектронных АТС. Скорости работы коммутационных элементов при пространственном разделении коммутируемых сигналов позволяют использовать КМОП-структуры с малой потребляемой мощностью и высокой степенью интеграции.

При пространственном разделении возможно совместное управление коммутацией для обоих направлений передачи; через коммутационные поля могут передаваться потоки с различными скоростями.

Как при временной, так и при пространственной коммутации цифровых сигналов необходима синхронизация входящих и исходящих цифровых потоков. В системах с пространственной коммутацией синхронизация входящих и исходящих потоков осуществляется в каналообразующем оборудовании систем передачи с помощью устройств синхронного или асинхронного сопряжения. В системах с временным разделением коммутируемых сигналов необходимо, кроме того, обеспечить синхронность тактовых частот входящих цифровых потоков и частоты коммутации сигналов в сетевом узле.

При различии частоты следования кодовых групп одного канала во входящем цифровом потоке и частоты коммутации этих кодовых групп возникают искажения коммутируемых сигналов (проскальзывания). Действительно, если частота записи входных сигналов в регистры $ZУ_{BX}$ отличается от частоты считывания этих сигналов, то временной интервал между моментами записи и считывания изменяется:

в случае превышения частоты записи интервал между моментами записи и считывания возрастает и наоборот. При этом моменты считывания периодически совмещаются с моментами записи, и считывание кодовых групп происходит с ошибками из-за неопределённости состояния ячеек ЗУ.

Такие ошибки отсутствуют, если синхронизировать тактовые частоты задающих генераторов всех коммутационных узлов. Кроме того, в каждом узле коммутации необходимо осуществлять фазирование входящих сигналов для совмещения циклов входящих цифровых потоков, а также подавления временных флуктуаций, возникающих в цифровых трактах входящих соединительных линий. Совмещение циклов осуществляется в коммутационном оборудовании, а подавление флуктуаций при необходимости – в оконечном оборудовании цифровых трактов.

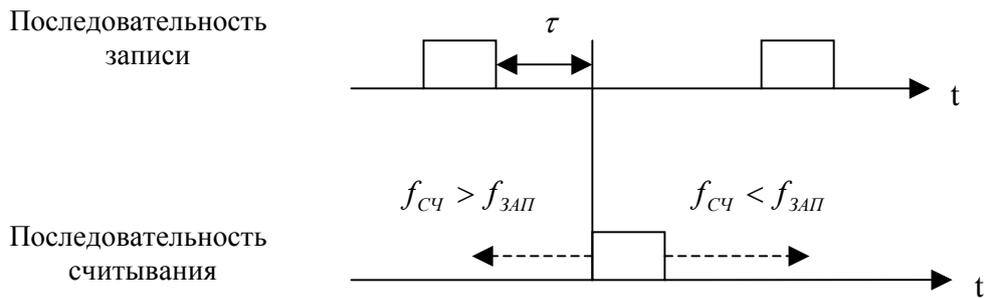


Рис.5.3. Относительное расположение моментов считывания и записи

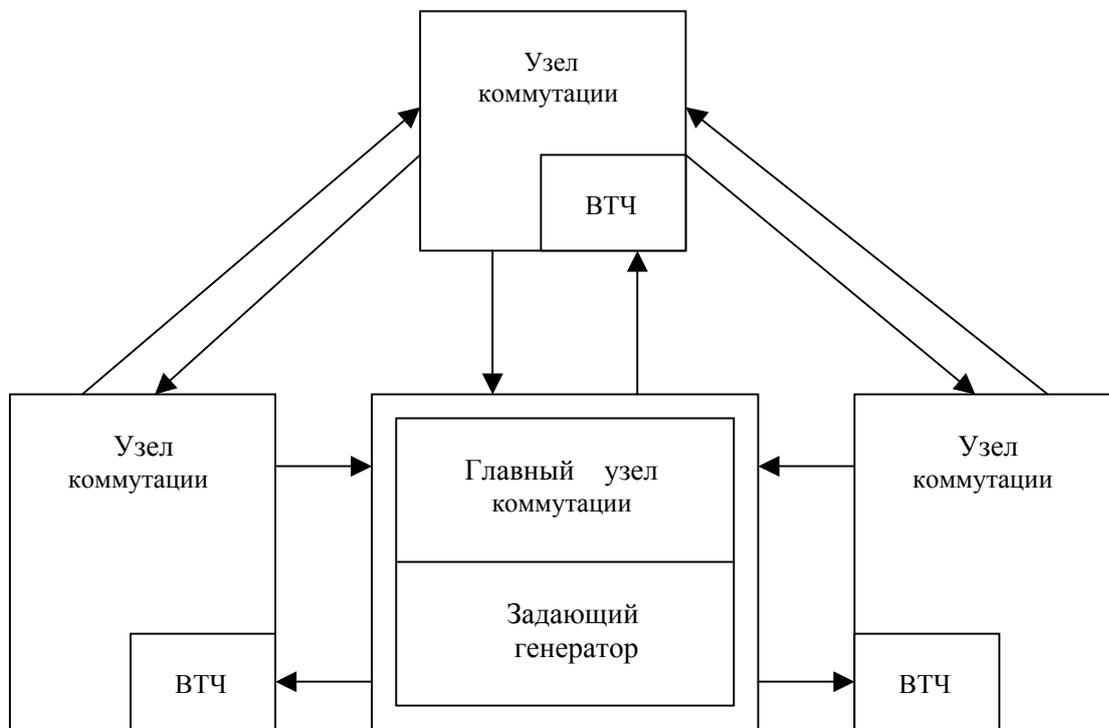


Рис.5.4. Структурная схема синхронной сети с единым задающим генератором

Существуют три способа синхронизации коммутационных узлов: единым задающим генератором; независимыми стабильными задающими генераторами, управляющими работой коммутационного оборудования; взаимной синхронизацией всех задающих генераторов.

В первом случае частота всех коммутационных узлов определяется единым задающим генератором, устанавливаемым в одном из главных узлов сети связи. Генераторы, установленные на других узлах сети, синхронизируются сигналами

тактовой частоты, выделенными из цифровых потоков, передаваемых из главного узла.

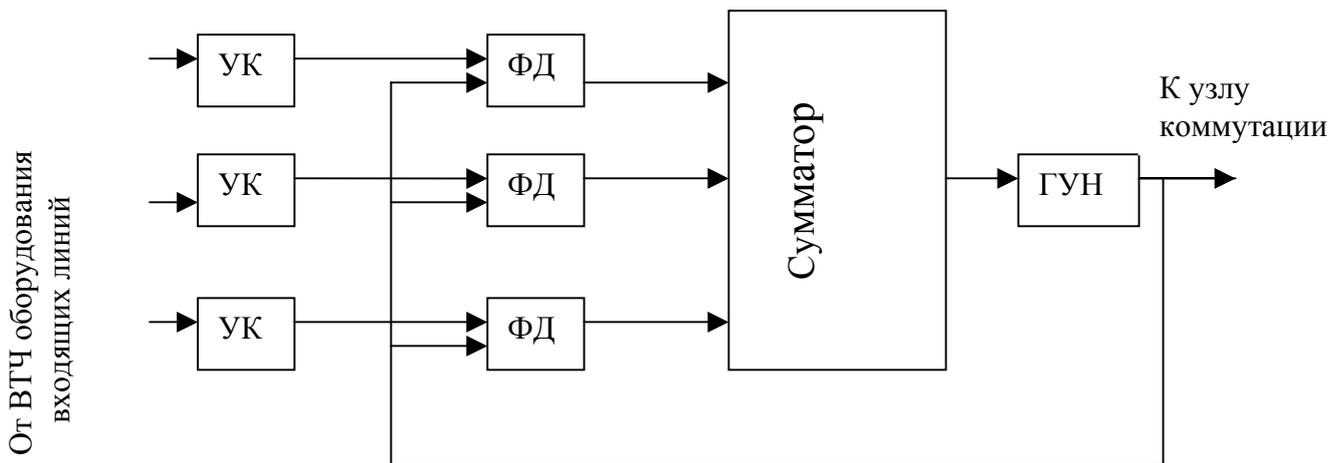
Недостатком такого способа синхронизации является нарушение работы всей сети или значительной ее части при повреждении задающего генератора или исходящей соединительной линии главного узла. Этот способ наиболее удобен при построении нескольких сетей с радиальной топологией.

При использовании независимых задающих генераторов возникает различие между частотами цифровых потоков, поступающих от других узлов сети, и частотой коммутации кодовых групп в данном коммутационном узле. При этом, как и в асинхронной сети происходит изменение временного интервала между моментами записи и считывания. Чтобы избежать ошибок при возможном совмещении моментов записи и считывания, периодически осуществляется временной сдвиг входящего потока. Если частота повторения кодовых групп входящего потока ниже частоты коммутации, то временной интервал между моментами записи и считывания кодовых групп одного канала уменьшается. Когда величина этого интервала приближается к нулю, осуществляется повторное считывание одной из кодовых групп. Это эквивалентно задержке входного сигнала на период считывания. Если частота повторения кодовых групп входящего потока выше частоты коммутации, то временной интервал между моментами записи и считывания кодовой группы увеличивается. Когда временного интервала приближается к периоду считывания, в $3U_{вх}$ не считывается одна из кодовых групп. Это эквивалентно уменьшению задержки входного сигнала на период считывания.

В результате некоторые дискретные отсчеты передаваемого аналогового сигнала будут либо потеряны, либо повторены дважды, что приведет к кратковременным деформациям аналогового сигнала. Для телефонных сигналов искажения такого вида мало заметны. При относительном расхождении частот задающих генераторов, равном 10^{-8} , потеря или повторение одного отсчета происходит 1 раз в 3,5 часа. Как показывают результаты соответствующих исследований, даже при значительно большем расхождении частот качество передачи телефонных сигналов не ухудшается. Поэтому метод синхронизации с независимыми генераторами используется при цифровой коммутации телефонных сигналов.

Потеря или повторная передача кодовых символов более опасна при коммутации дискретной информации, так как при этом изменяется число импульсных позиций в цикле передачи дискретной информации, что в свою очередь, вызывает сбой цикловой синхронизации приемного оборудования. В результате в течение всего времени восстановления синхронизма прием дискретной информации будет осуществляться неверно.

При взаимной синхронизации коммутационных узлов формирование сигнала тактовой частоты в каждом узле осуществляется усреднением частот всех входящих потоков и частоты собственного задающего генератора



Структурная схема устройства формирования тактовой частоты при взаимной синхронизации задающих генераторов на сетевом узле

Рис.5.5. Формирование тактовой частоты при взаимной синхронизации

Сигналы тактовых частот входящих цифровых потоков, выделенные в оконечном оборудовании линейных трактов, подаются на входы соответствующих фазовых детекторов, где сравниваются с сигналом, поступающим от местного задающего генератора. Разностные сигналы с выходов фазовых детекторов поступают на входы сумматора, на выходе которого вырабатывается сигнал, несущий информацию о средневзвешенном значении расхождения частот входящих цифровых потоков. Сигнал с выхода сумматора определяет частоту работы генератора, управляемого напряжением ГУН. С выхода ГУН сигнал тактовой частоты подается к коммутационному оборудованию, к оборудованию формирования группового цифрового сигнала и к оконечному оборудованию линейных трактов цифровых систем передачи.

При таком способе синхронизации существует взаимная зависимость между частотами работы всех коммутационных узлов. Для того чтобы изменение времени распространения сигналов по соединительным линиям не приводило к изменению частоты задающих генераторов, в цепях передачи тактовой частоты устанавливаются устройства компенсации УК. Для предупреждения перестройки частоты всей сети при выходе из строя одного из генераторов, на выходе ФД устанавливается цепь блокировки, отключающая данный детектор от сумматора в том случае, если сигнал на выходе ФД превышает пороговое значение. Последнее выбирается с учетом заданного диапазона частот входящих цифровых потоков.

Сеть связи, основанная на взаимной синхронизации генераторного оборудования, представляет собой, по существу, сеть с единым распределенным генератором. Изменение частоты работы генераторного оборудования на одном из узлов вызывает перестройку частоты сети в целом. В этом случае устойчивая работа системы взаимной синхронизации обеспечивается соответствующим выбором постоянных времени регулирования ГУН, достаточно высокой чувствительностью ФД в требуемом диапазоне перестройки частот, ограничением

допустимой величины сигнала на выходе ФД и компенсацией изменения задержки передаваемых сигналов.

В цифровой сети связи используются различные способы синхронизации. В пределах одной зоны синхронизация может осуществляться единым задающим генератором; в свою очередь зоны могут синхронизироваться на основе других рассмотренных способов синхронизации.

6. Коммутация пакетов

Коммутация пакетов как один из способов переноса информации использовалась и используется в аналоговых сетях телефонной связи. В классическом смысле при оперативной коммутации каналов канал предоставляется пользователю только на время сеанса связи с момента установления соединения до момента завершения работы и разъединения.

Режим коммутации каналов в ЦСП базируется на принципе временного разделения каналов (TDM) для транспортирования информации от одного узла к другому. Этот способ также известен как синхронный режим переноса или доставки (STM – Synchronous Transfer Mode).

Коммутация пакетов при временном разделении осуществляется коммутатором путем пространственной коммутации; временной коммутации или их комбинацией.

Коммутация каналов представляет собой очень негибкую процедуру, так как продолжительность временного интервала однозначно определяет скорость передачи в канале связи.

Чтобы устранить этот недостаток был разработан вариант с более широким диапазоном скоростей, получивший название многоскоростной коммутации каналов (MRCС - Multirate Circuit Switching). Системы передачи с многоскоростной коммутацией каналов используют тот же метод временного разделения TDM. Однако, в одном соединении может использоваться n ($n > 1$) основных цифровых каналов. Таким образом, каждое соединение может быть кратным скорости одного канала, и таким образом увеличивается в кратное число раз скорость передачи в канале.

В левой части рисунка режимы доставки отличается простотой, лучше приспособлены для обеспечения источников с постоянной скоростью передачи. При движении вправо возрастает гибкость режимов переноса к источникам с изменяющейся скоростью передачи и большой пачечностью. Однако реализация таких режимов переноса характеризуется возрастающей скоростью обработки в узлах коммутации, которая ограничивает реализуемую скорость доставки в линии.

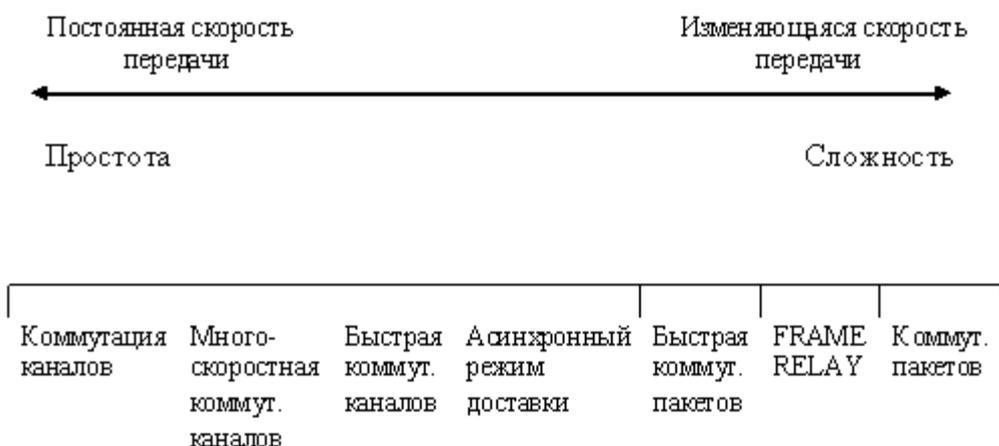


Рис.6.1. Режимы переноса информации - от коммутации каналов к коммутации пакетов

Системы коммутации, обеспечивающие многоскоростную коммутацию каналов, становятся более сложными, так как все каналы должны быть синхронными. Иначе информация из одного канала может поступать через терминальное устройство в другой канал, что абсолютно недопустимо. Кроме того, при многоскоростной коммутации остается очень низкой эффективность использования каналов при обслуживании источников с изменяющейся скоростью передачи и “взрывным” (пачечным) режимом работы. Выбранная скорость должна быть равной или превышать пиковую скорость передачи источника, хотя средняя скорость может быть очень низкой. Таким образом, основным недостатком многоскоростной коммутации является отсутствие гибкости и низкая эффективность при обслуживании источников с высоким коэффициентом пачечности.

С целью повышения эффективности использования сетевых ресурсов для служб с изменяющейся скоростью передачи была разработана концепция быстрой коммутации каналов (FCS – Fast Circuit Switching): Ресурсы в сети с быстрой коммутацией каналов используются только тогда, когда передается информация.

Эффективность использования цифровых трактов связи повышается за счет статистического уплотнения. При этом при обслуживании телефонной нагрузки на пучок цифровых каналов 64кбит/с поступает поток заявок не на установление соединения на всю длительность сеанса связи, а только на длительность передачи фрагмента речи. В этом случае при одной и той же вероятности отказа в обслуживании эффективность использования цифрового тракта может быть повышена в 1,8 ÷ 2 раза.

Основным недостатком такого режима переноса информации является сложность реализации системы управления, которая должна позволять устанавливать и разъединять сквозные соединения абонент – абонент за очень короткий интервал времени.

Коммутация пакетов X. 25. Стандарт МСЭ X. 25 определяет процедуры обмена данными для устройств передачи данных между пользователем и узлом

коммутации пакетов. Таким образом, протокол X.25 является спецификацией сопряжения. Он управляет взаимодействием между окончательным оборудованием данных (DTE – Date Terminal Equipment) и оборудованием передачи данных (DCE – Date Circuit Terminating Equipment).

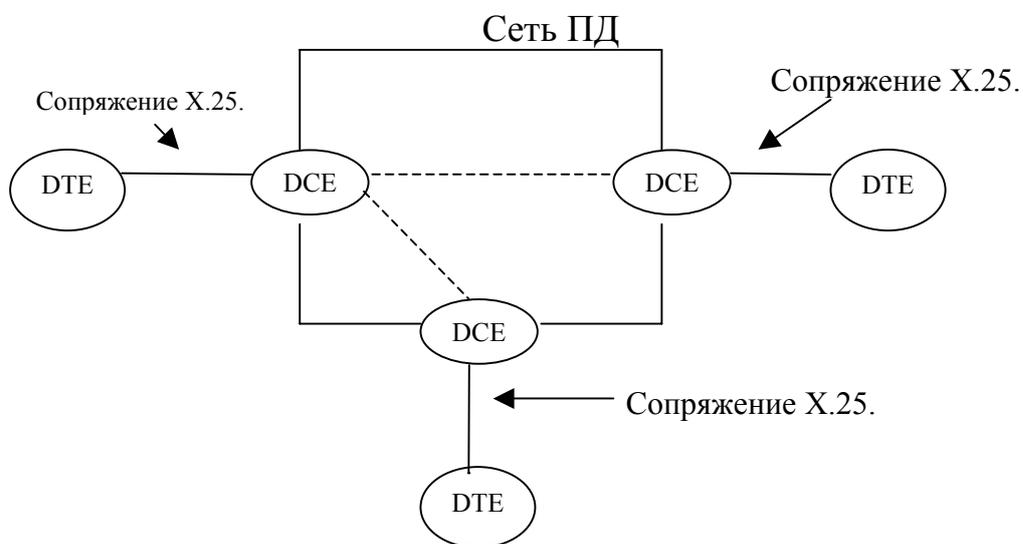


Рис.6.2. Концепция X.25

Протокол X.25 организован по трехуровневой архитектуре, соответствующей трем нижним уровням модели ВОС (взаимодействия открытых сетей).

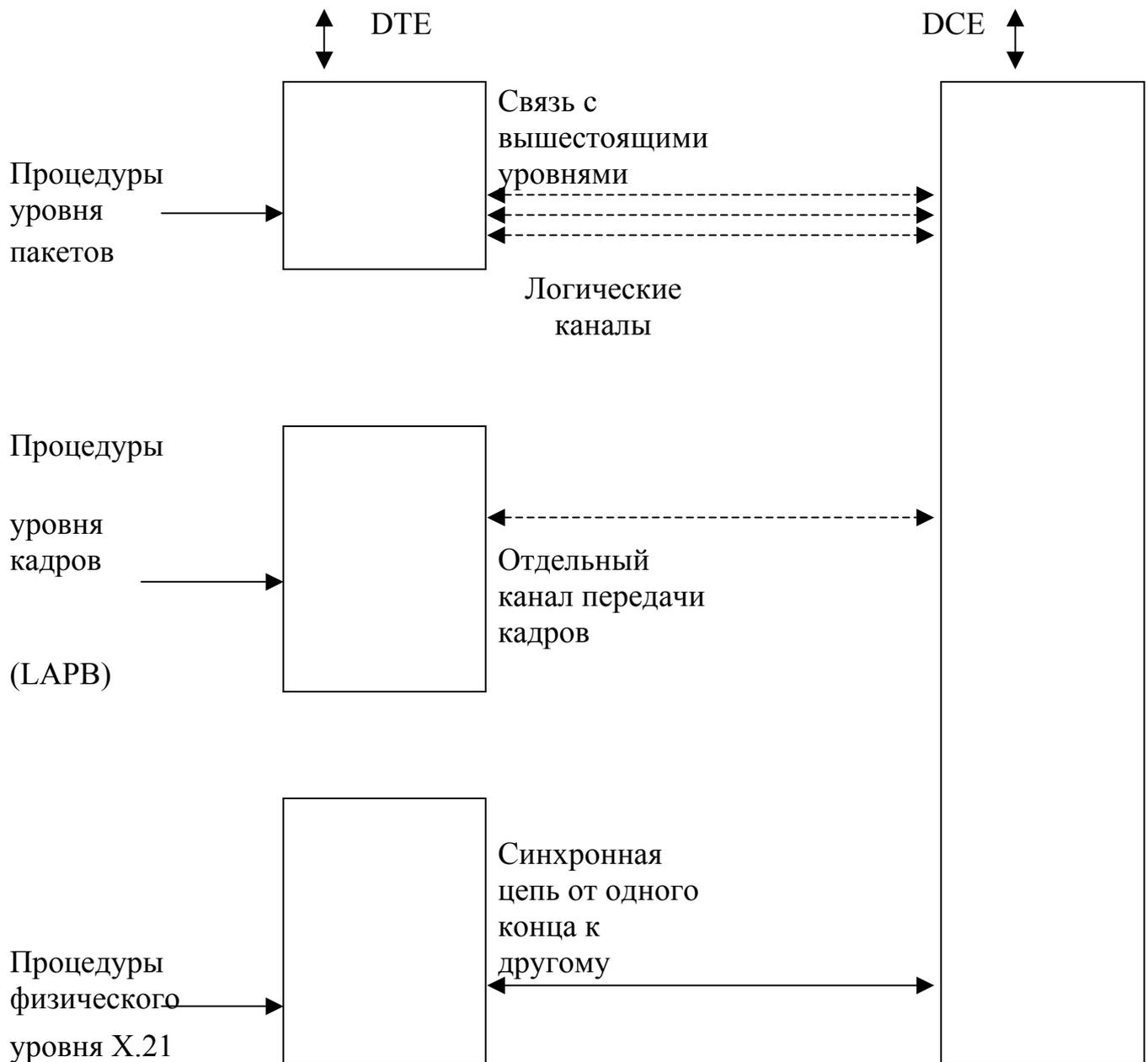


Рис.6.3. Уровни X.25

Взаимосвязь между этими тремя уровнями и уровнями модели ВОС (взаимодействия открытых систем) выглядит следующим образом:

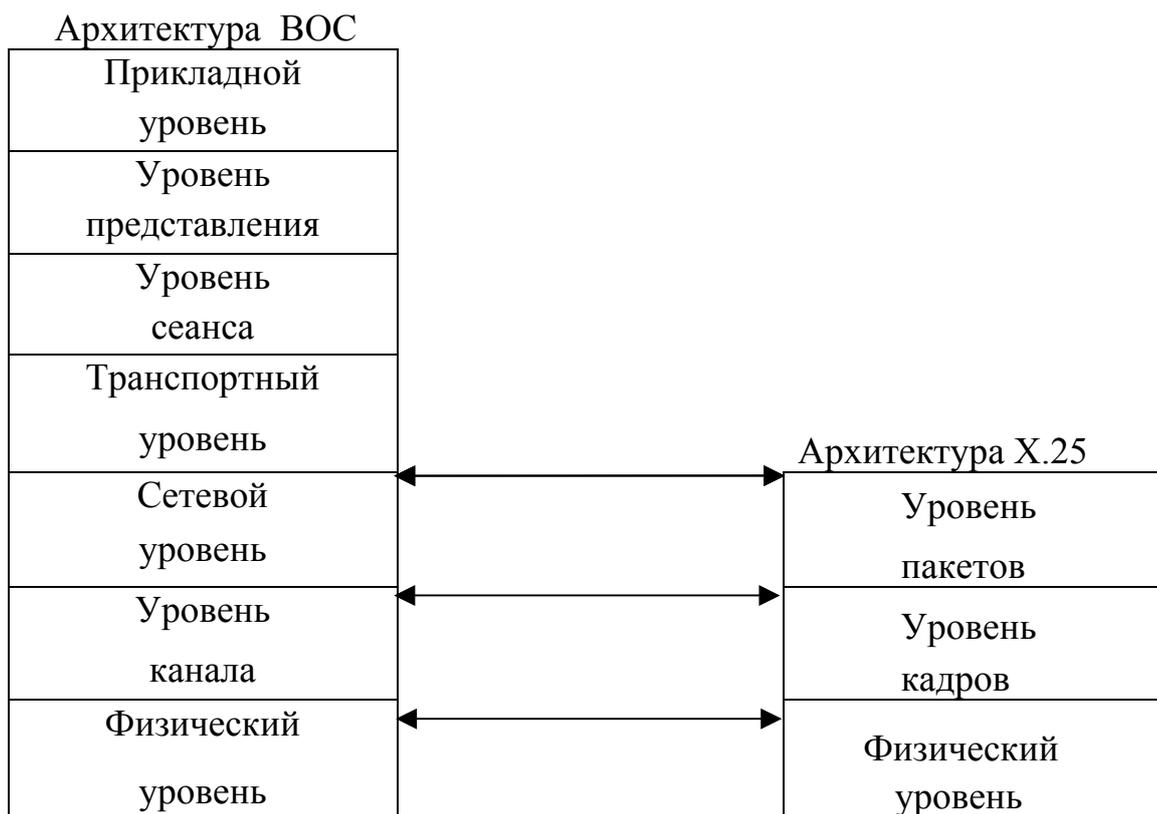


Рис.6.4. Взаимосвязь X.25 - ВОС

Нижний физический уровень обеспечивает необходимое физическое соединение между DTE и DCE. Оно осуществляется в соответствии с X.21.

Протоколом уровня канала является версия высокоуровневого управления каналом (HDLC – High Level Link Control), называемая сбалансированной процедурой доступа к каналу (LAPB – Link Access Procedures Balanced). Вследствие низкого качества каналов связи для обеспечения приемлемой прозрачности сквозного соединения в сети потребовалось использование сложных протоколов, осуществляющих разграничение кадров и защиту от ошибок.

Блоку уровня канала передачи данных протокола LAPB присвоено специальное название кадр (Frame).

Флаг	Поле адреса	Поле управляющих символов	Информационное поле	Поле проверочных символов	Флаг
------	-------------	---------------------------	---------------------	---------------------------	------

Рис.6.5. Типовой формат кадра

Начало и конец кадра обозначаются специальной восьмиразрядной синхронизирующей комбинацией символов 01111110, именуемой флагом.

За флагом следует поле адреса и поле управляющих символов. В информационном поле располагаются данные, полученные от сетевого уровня (пакет). Затем в кадре размещается поле проверочных символов, служащих для обнаружения ошибок. Кадры, предназначенные для управления процессом переноса информации, информационного поля не имеют.

Для определения границ кадров используется битовое кадрирование, т.е. специальная последовательность битов – флаг, для указания начала и конца кадра. Однако, комбинация 01111110 может встретиться в адресном, управляющем, информационном поле и поле проверочной последовательности. Для того, чтобы предотвратить посылку внутри кадра «флаговой» комбинации, передающая станция помещает 0 после пяти последовательных единиц (вставка битов). Приемник после того, как получит нуль с пятью последовательными единицами, анализирует следующий бит. Если это нуль, то он удаляется. Таким образом, протоколу LAPB безразлично, какие кодовые комбинации следуют в потоке данных. Важно – это поддерживать уникальность флагов и тем самым синхронизацию по кадрам.

Поле проверочных символов используется для обнаружения ошибок. Передающая станция осуществляет вычисления над потоком данных, а результат этого вычисления включается в кадр в качестве проверочного поля. Принимающая станция осуществляет аналогичные вычисления и сравнивает полученный результат с проверочным полем. Если имеет место совпадение, то велика вероятность того, что передача прошла без ошибок. Вычисление проверочного поля называется циклическим контролем с избыточным кодом (CRC – Cyclic Redundancy Check), для чего в соответствии с Рек. V.41 используется производящий полином $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$.

Метод CRC позволяет обнаруживать все возможные ошибки длиной не более 16 разрядов, вызываемые одиночной ошибкой, а также 99,9984% всевозможных более длинных коротежей ошибок. Если выявлена ошибка, то производится исправление по методу возвращения на N шагов назад (Go – Back – N).

Стандарт X.25 ориентирован на предоставление пользователям для обмена данными виртуальных каналов. Виртуальный (или логический) канал является каналом, относительно которого пользователь считает, что он реально (физически) существует, хотя в действительности физическая цепь распределена для многих пользователей. Пропускная способность канала считается достаточной при условии, что ни один из пользователей не замечает ухудшения качества обслуживания при работе по этому каналу других. Одному физическому каналу может быть назначено до 4095 логических каналов.

Другой функцией протокола на сетевом уровне является управление потоком с помощью окна с целью защиты от перегрузок. Пакеты X.25 имеют переменную длину, что требует достаточно сложного алгоритма управления буферным устройством коммутатора. Однако, при скорости в канале, не превышающей 64 кбит/с, переменная длина пакетов не является ограничением для разработки эффективных программных средств управления накопителями.

Относительно низкая скорость обработки в узлах коммутации на уровне звена из-за ее сложности является причиной продолжительной задержки. Однако, т.к. сети X.25 не были предназначены для обеспечения служб, осуществляемых в реальном масштабе времени, то относительно большое время задержки не явилось ограничением на создание таких сетей. Тем не менее, это значительно затрудняет применение метода коммутации пакетов для служб, осуществляемых в реальном масштабе времени.

Применение для передачи данных цифровых трактов связи, в особенности, волоконно-оптических, с малым уровнем ошибок, а также необходимость высокоскоростной передачи данных, позволили сократить количество функций, решаемых узлом коммутации, и практически использовать протокол Frame Relay.

При протоколе Frame Relay повторная передача кадров с целью устранения ошибок вынесена на границу сети, т.е. осуществляется только между оконечными устройствами пользователей. На уровне звена производится только обнаружение ошибок и стирание кадров, в которых обнаружены ошибки.

В настоящее время протокол Frame Relay используется во многих пакетных сетях для обеспечения высокоскоростной передачи данных.

Быстрая коммутация пакетов (БКП) является концепцией, основной идеей которой является пакетная коммутация с минимумом функций, выполняемых узлами коммутации на уровне звена с целью повышения уровня прозрачности сети. Такой режим переноса информации называется АТМ (Asynchronous Transfer Mode) – асинхронный режим доставки.

При выборе фиксированной, а не переменной длины пакета для АТМ учитывались следующие основные факторы:

- эффективное использование пропускной способности канала связи;
- достижение высокой производительности коммутационного оборудования, т.е. компромисс между скоростью и сложностью коммутации;
- задержка пакета.

Эксперты МСЭ пришли к заключению об использовании пакетов фиксированной длины. Чтобы подчеркнуть фиксированную длину, было одобрено название ячейки (cell).

На выбор длины ячейки оказали влияние следующие факторы:

- эффективность использования пропускной способности цифровых трактов;
- задержка при заполнении пакета информацией пользователя;
- задержка в очереди, задержка на депакетизацию и колебание этих задержек (джиттер);
- сложность реализации.

Был достигнут компромисс между европейскими (32) учеными и учеными США и Японии (64) и длина ячейки была принята в 53 октета (байта).

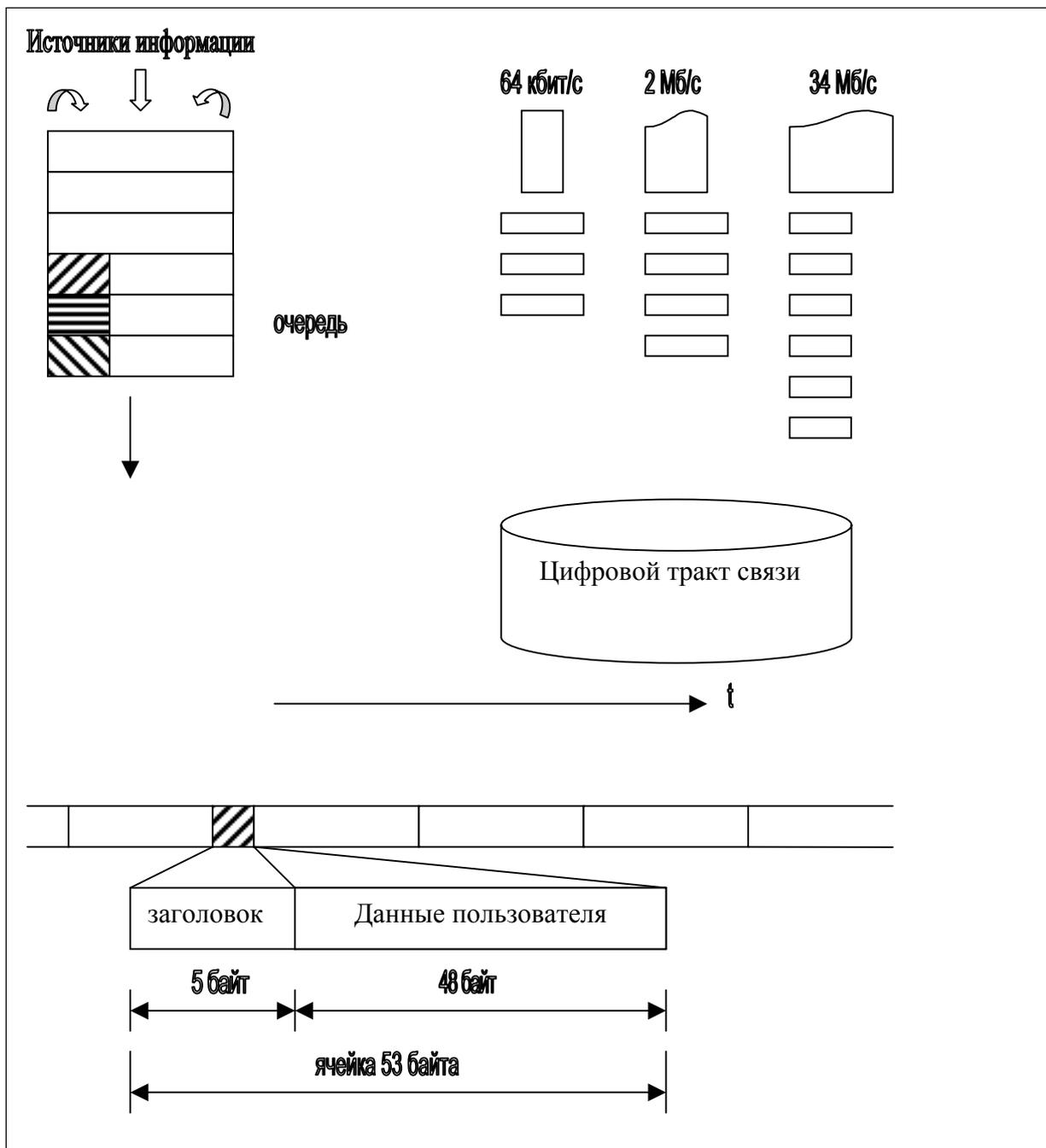


Рис.6.6. Транспортирование информации и формат ячейки при АТМ

Сущность режима АТМ состоит в транспортировании всех видов информации пакетами фиксированной длины, когда потоки ячеек от различных пользователей асинхронно мультиплексируются в едином цифровом тракте. Применение коротких пакетов, минимизация функций, выполняемых при коммутации и использование элементной базы на технологиях КМОП и БИКМОП, позволили достичь производительности коммутаторов АТМ 10Гбит/с и более.

Основными положительными сторонами метода АТМ являются возможности транспортирования по сети информации любой службы независимо

от скорости передачи, требований к временной прозрачности сети и пачечности трафика ячеек.

Сети АТМ свободны от недостатков сетей с другими режимами переноса. Именно технология АТМ обеспечивает:

- гибкость сети;
- эффективность использования сетевых ресурсов;
- возможность создания единой универсальной сети для всех ныне существующих служб и служб будущего.

Режим АТМ может быть поддержан любой цифровой системой передачи, т.к. определяет протоколы на уровнях выше физического. Все имеющиеся ресурсы сети могут использоваться всеми службами, что дает возможность их оптимального распределения на статистической основе и, следовательно, обеспечивает высокую эффективность использования сетевых ресурсов.

Асинхронный метод доставки характерен следующими основными особенностями:

- отсутствием защиты от ошибок и управления потоком данных на уровне звена;
- ориентацией на соединение;
- ограниченным количеством функций, которые несет заголовок пакета;
- относительно небольшой длиной ячейки.

Высокое качество систем передачи на основе волоконно-оптических цифровых трактов связи и очень малые значения вероятности ошибки на бит позволяют отказаться от обнаружения и исправления ошибок в пакете на звеньевом уровне.

Фазе передачи информации в сетях АТМ предшествует фаза установления виртуального соединения, во время которой осуществляется проверка достаточности объема сетевых ресурсов, как для качественного обслуживания уже установленных виртуальных соединений, так и для создаваемого. Если сетевых ресурсов недостаточно, то оконечному устройству отказывается в установлении соединения.

После завершения фазы передачи информации виртуальное соединение разрушается, а сетевые ресурсы используются в интересах других соединений. Таким образом, за счет использования режима переноса информации, ориентированного на соединение, и определения размеров очередей, осуществляется контроль за величиной потерь пакетов вследствие переполнения буферных устройств коммутаторов. В сетях АТМ вероятность потери пакета в коммутационном устройстве ограничивается значениями $10^{-8} \div 10^{-12}$.

7. Типовые каналы передачи и основные характеристики каналов

Телефонная связь обеспечивает непосредственное разговорное общение между двумя соединяемыми абонентами.

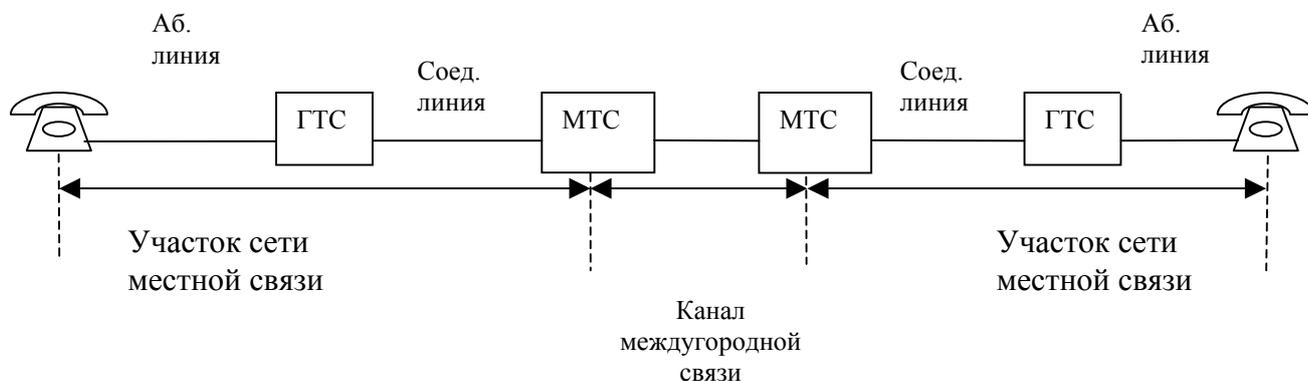


Рис.7.1. Общая схема междугородного телефонного соединения

Собственно междугородний канал включен на схеме между двумя участками сети местной связи, соединяющими абонентов с междугородней телефонной станцией. Крайними звеньями общей цепи телефонной связи являются телефонные аппараты. Электрические характеристики этих аппаратов и местных сетей должны, очевидно, учитываться при определении электрических характеристик каналов.

Канал, показанный на рис.7.1, является каналом двухстороннего действия, он обеспечивает передачу телефонных сигналов в обоих направлениях. Без этого нельзя осуществить непрерывность общения разговариваемых абонентов, необходимую для нормального течения разговора.

Канал двухстороннего действия представляет собой совокупность двух односторонних каналов. Под этим последним термином понимают четырехполюсник, состоящий из узлов аппаратуры и отрезков линии связи и служащий для передачи сигналов определенного вида связи в одном направлении. Прежде, чем переходить к изучению сложных каналов двухстороннего действия имеет смысл изучить, как более простое, построение односторонних каналов.

К электрическим характеристикам каналов дальней связи относятся: остаточное затухание и его стабильность во времени; амплитудно-частотная характеристика остаточного затухания; фазо-частотная характеристика или частотная характеристика группового времени задержки; амплитудная характеристика; коэффициент нелинейных искажений; устойчивость от самовозбуждения; изменение частоты сигнала, передаваемого по каналу; защищенность между направлениями передачи и приема; уровень помех на выходе канала; защищенность от переходных разговоров; влияние электрического эха; величина и продолжительность импульсных помех на выходе канала;

частоту кратковременных изменений и прерываний уровня сигнала. Последние две характеристики, как и вероятность ошибки, используются при оценке качества передачи цифровых сигналов.

При нормировании электрических характеристик каналов исходят из обеспечения высокого качества передачи при максимальной дальности связи, осуществляемой как по государственной, так и по международным сетям связи. Поэтому нормы на электрические характеристики каналов для каждой магистрали дальней связи устанавливаются в зависимости от ее протяженности и значимости в общей системе связи. Естественно, что для отдельных участков данной магистрали требования в отношении допустимых искажений и помех в каналах будут тем жестче, чем меньше протяженность рассматриваемых участков.

7.1. Понятие об уровнях передачи. Рабочее затухание (усиление)

Абсолютным уровнем мощности называется отношение полной мощности P в рассматриваемых точках цепи к мощности в 1 милливатт (милливатт), выраженное в дБ (Нп).

$$P_M = 10 \lg \frac{P[\text{мва}]}{1} \quad [\text{дБ}]; \quad P_M = \frac{1}{2} \ln \frac{P[\text{мва}]}{1} \quad [\text{Нп}]. \quad (7.1)$$

1 дБ \approx 0,115 Нп ; 1 Нп \approx 8,68 дБ.

Абсолютные уровни напряжения и тока определяются следующими формулами:

$$P_H = 20 \lg \frac{U[\text{мВ}]}{775} \quad [\text{дБ}]; \quad P_H = \ln \frac{U[\text{мВ}]}{775} \quad [\text{Нп}];$$

$$P_T = 20 \lg \frac{I[\text{мА}]}{1,29} \quad [\text{дБ}]; \quad P_H = \ln \frac{I[\text{мА}]}{1,29} \quad [\text{Нп}] \quad (7.2)$$

Таким образом, нулевому абсолютному уровню мощности соответствует мощность 1мВА(мВт), нулевому абсолютному уровню напряжения – 775 мВ, нулевому абсолютному уровню тока – 1,29 мА. В случае, когда сопротивление в данных точках цепи равно 600 Ом, абсолютный уровень мощности, тока и напряжения оказывается численно равными. Это объясняется выбором величин, принятых за единицу $\frac{775 \cdot \text{мВ}}{1,29 \cdot \text{мА}} \approx 600 \text{ Ом}$ и $775 \cdot \text{мВ} \times 1,29 \cdot \text{мА} \approx 1 \text{ мВт}$. Номинал сопротивления 600 Ом исторически появился в технике дальней связи как среднее значение волнового сопротивления воздушной медной линии.

Изменение мощности или напряжения сигнала по тракту передачи оценивается относительными уровнями мощности и напряжения

$$P_{\text{моот}} = 10 \lg \frac{P}{P_0}; \quad P_{\text{нотн}} = 20 \lg \frac{U}{U_0}, \quad (7.3)$$

где P и U – мощность и напряжение в рассматриваемых точках, а P_0 и U_0 – мощность и напряжение в точках цепи, принятых за начало.

Для этой же цели более удобными оказываются измерительные уровни. Согласно МСЭ измерительным уровнем называется абсолютный уровень в рассматриваемых точках канала, если в начале включен нормальный генератор. Под нормальным генератором понимается генератор с ЭДС 2×775 мВ и внутренним сопротивлением 600 Ом. Т.к. входное сопротивление канала как правило активно и равно 600 Ом, то ко входу канала в этом случае оказывается подведенным абсолютный нулевой уровень мощности, напряжения и тока (1мВт , 775мВ и $1,29$ мА). По определению МСЭ частота нормального генератора может быть любой, но, как правило, считают частоту нормального генератора 800 Гц.

Таким образом, измерительный уровень является частным случаем относительного, т.к. в этом случае $P_0 = 1\text{мВт}$, $U_0 = 0,775$ В.

Потери энергии сигнала в пассивном четырехполюснике или ее увеличение в активном четырехполюснике оцениваются затуханием или усилением. В связи с этим вводится понятие рабочего затухания четырехполюсника $a = 10 \lg \frac{P_1}{P_2}$, дБ (7.4), где P_1 – мощность, которую отдал бы источник ЭДС сигнала согласованной с ним нагрузкой, P_2 – полная мощность, выделяющаяся в нагрузке четырехполюсника при реальной схеме включения. При таком определении учитывается возможная несогласованность как во входной, так и в выходной цепях четырехполюсника.

Рабочее усиление определяется аналогично:

$$S = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \text{ дБ}, \quad (7.4)$$

здесь P_1 и P_2 – те же, что и в предыдущей формуле.

7.2. Остаточное затухание канала

Остаточным затуханием канала называется его рабочее затухание при оконечных нагрузках 600 Ом. Так как аппаратура дальней связи рассчитывается на согласование с волновым сопротивлением линий связи, то практически остаточное затухание канала может быть определено в системах с частотным разделением каналов ЧРК разностью между суммой затуханий всех участков линии и суммой усилений оконечной аппаратуры и промежуточных усилителей $a_r = \sum a_i - \sum S_i$.

При измерениях величина остаточного затухания a_r определяется разностью между уровнем, отдаваемым измерительным генератором с $R_r = 600$ Ом согласованной нагрузке, и уровнем на выходе канала, нагруженного на сопротивление 600 Ом, т.е. $a_r = p_0 - p_{\text{вых}}$.

Остаточное затухание проверяется при $p_0 = 0$ дБ. При этом величина a_r равна величине уровня в дБ на выходе канала, взятого с обратным знаком, т.е. $a_r = -p$ вых. Величина a_r нормируется на частоте 800 Гц.

Максимальная величина a_r ограничивается требованием в отношении громкости передачи. С этой точки зрения канал дальней связи может вносить затухание до 11,3 – 13,5 дБ. Минимальное же значение a_r устанавливается по условию сохранения необходимой устойчивости от самовозбуждения.

По существующим нормам остаточное затухание каналов ТЧ (тональной частоты) многоканальных систем уплотнения при их двухпроводном окончании должно составлять 5,3 дБ, а при четырехпроводном остаточное усиление должно быть равно 17,4 дБ. Указанные величины остаточного затухания и усиления устанавливаются с точностью не хуже, чем 0,4 дБ. Отклонение величины остаточного затухания на частоте 800 Гц от номинала во времени, характеризующее стабильность работы канала, должно находиться в пределах $|\Delta a_q(t)| \leq 1,7$ дБ.

7.3. Частотная характеристика канала

Частотной характеристикой канала называют зависимость его остаточного затухания от частоты при постоянном уровне на входе канала

$$a_{ч} = \varphi(f) \text{ при } P_{вх} = const. \quad (7.5)$$

Эта характеристика оценивает амплитудно-частотные искажения, вносимые каналом за счет зависимости его остаточного затухания от частоты.

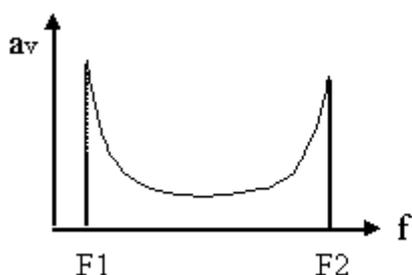
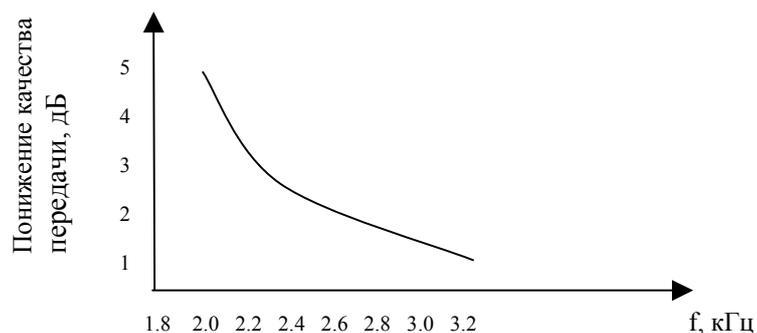


Рис.7.2. Частотная характеристика канала



На рис.7.2 показан примерный вид частотной характеристики канала ТЧ. Волнистость характеристики в средней части полосы канала обусловлена, главным образом, несогласованностью канальных фильтров с нагрузками, а резкое увеличение $a_{\text{ч}}$ в области граничных частот – неравномерностью затухания фильтров в этой области.

Частотная характеристика канала ТЧ нормируется в пределах эффективно передаваемой полосы частот, т.е. такой полосы, на границах которой остаточное затухание может превышать свое нормированное значение при частоте 800 Гц не более, чем на 8,68 дБ. Нормируемая эффективно передаваемая полоса частот должна обеспечиваться при максимальной дальности связи.

В пределах эффективно передаваемой полосы частот по условию допустимого понижения устойчивости канала от самовозбуждения, остаточное затухание канала может уменьшаться по сравнению с нормальной величиной не более, чем на 2,1 дБ.

Эффективно передаваемая полоса частот определяет не только качество телефонной передачи, но и возможность использования канала ТЧ для передачи сигналов других видов связи. Изменение качества передачи речи при ограничении передаваемой полосы частот оценивается величиной дополнительного затухания, которое необходимо ввести в эталонный телефонный тракт с полосой частот 0,1 ÷ 10 кГц с тем, чтобы получить ту же разборчивость, что и при передаче через испытываемый тракт. Полученное таким образом дополнительное затухание называют понижением качества передачи.

Для каналов ТЧ, образованных многоканальной аппаратурой, МСЭ установлена эффективно передаваемая полоса частот 0,3 ÷ 3,4 кГц. Такой канал называют стандартным.

Неравномерность частотной характеристики канала нормируется допустимыми отклонениями остаточного затухания в пределах отдельных участков эффективно передаваемой полосы частот по отклонению к его величине при $f = 800$ Гц, т.е. $\Delta a_{\text{ч}} = a_{\text{ч}}(f) - a_{\text{ч}}(800 \text{ Гц})$.

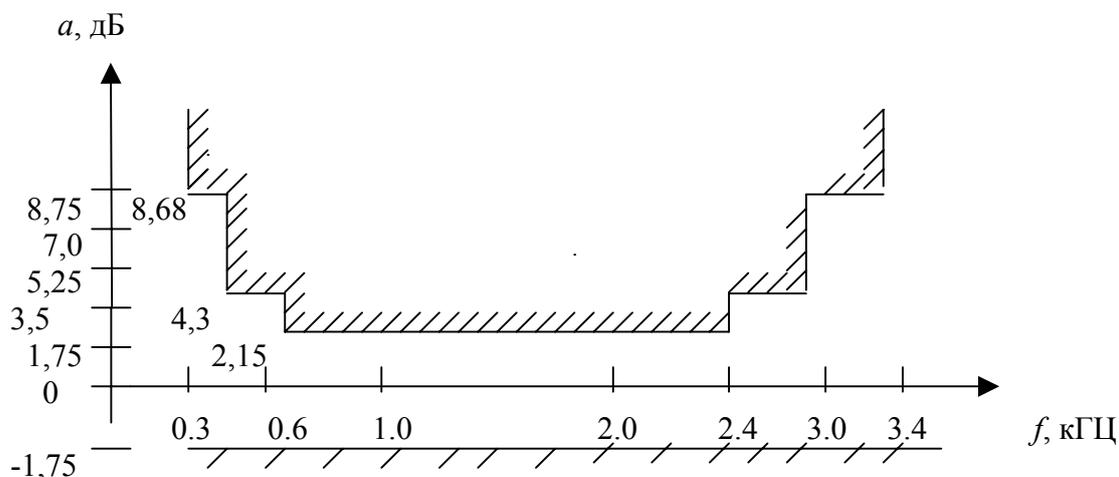


Рис.7.3. Нормируемая неравномерность АЧХ канала

Нормы на неравномерность частотной характеристики каналов на один переприемный участок зависят от допустимого количества переприемов по низкой частоте.

7.4. Фазовая характеристика канала

Фазовой характеристикой канала называется зависимость его фазовой постоянной от частоты $b = \varphi(f)$.

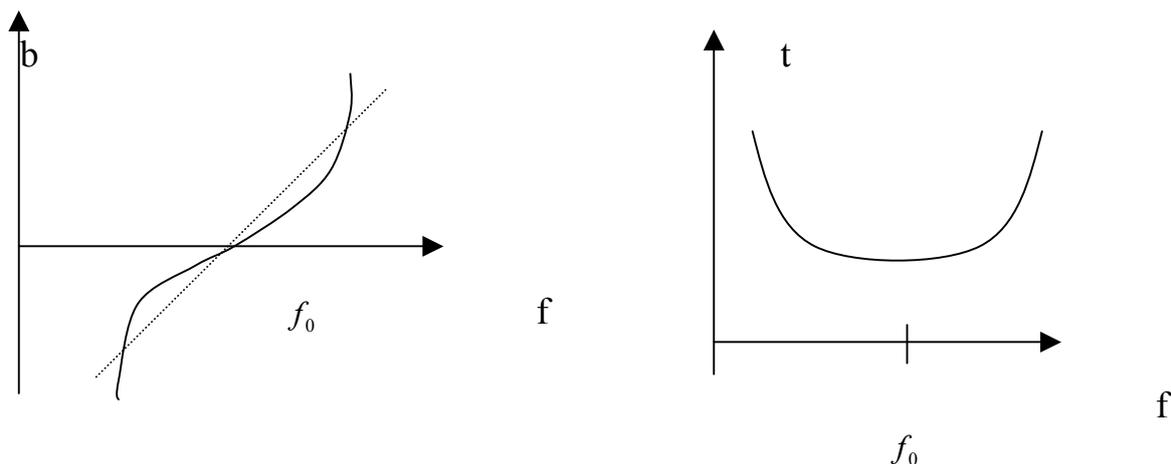


Рис.7.4. а) Фазовая характеристика

б) Характеристика группового времени

Примерный вид фазовой характеристики канала приведен на рис.7.4. а). В средней части эффективной полосы пропускания характеристика близка к линейной, а на ее границах наблюдается заметная нелинейность, обусловленная, главным образом, каналными фильтрами. На рис.7.4 б), показана зависимость группового времени, определяемого как $t = \frac{\partial b}{\partial \omega}$ (7.5).

Если фазовая характеристика линейна так, что $b = k(\omega - \omega_0)$, где ω_0 - средняя частота в эффективно передаваемой полосе канала, то групповое время $t = k$ будет постоянным для всех составляющих сигнала, сигнал будет передаваться без искажений с замедлением, определяемым крутизной фазовой характеристики. Запаздывание сигнала, передаваемого по реальным каналам, определяется групповым временем в средней части полосы пропускания канала.

Замедление сигналов факсимильной связи, вещания, телевидения не влияет на качество передачи, поскольку передача этих сигналов является односторонней. Заметное время замедления может являться помехой для двухсторонней телефонной связи, поскольку большие интервалы времени между вопросом говорящего и ответом слушающего нарушают возможность беглого разговора. Нормы МСЭ ограничивают время замедления между двумя абонентами до 250 мс.

Наибольшее групповое время в каналах ТЧ проводной и радиорелейной связи не должно превышать 100 мс, а при наличии в тракте передачи

искусственных спутников – 400 мс, из которых 300 мс отводится на космический участок.

Неравномерность группового времени, которая становится особенно заметной на краях частотного спектра канала, приводит к искажению формы сигнала.

При передаче речи нарушение фазовых соотношений составляющих спектральной характеристики сигнала не сказывается на восприятии звуков, так как ухо реагирует лишь на характеристику спектральной плотности. Поэтому фазовые искажения будут сказываться на качестве передачи речи только тогда, когда неравномерность группового времени вызывает заметное смещение во времени отдельных компонент звука.

Для каналов, предназначенных для передачи речи, нормируется максимальное отклонение группового времени на граничных частотах эффективно передаваемой полосы частот по отношению к минимальной величине этого времени. По рекомендации МСЭ на национальных участках международной сети должно выполняться условие

$$\Delta t_{f=0,3\text{кГц}} = t_{f=0,3} - t_{\min} \leq 20\text{мс} \text{ и } \Delta t_{f=3,4\text{кГц}} = t_{f=3,4} - t_{\min} \leq 10\text{мс} .$$

Эти нормы установлены без учета требований, предъявляемых к каналам ТЧ системами передачи данных. С учетом этих требований неравномерность группового времени в каналах ТЧ на участке протяженностью 2500 км должна находиться в пределах $\Delta t = t_f - t_{\min} \leq 2\text{мс}$, где t_f - групповое время на любой из частот эффективно передаваемой полосы канала, t_{\min} - минимальное значение группового времени в этой полосе.

Максимально же допустимая величина неравномерности группового времени в пределах спектра, используемого для передачи данных, в зависимости от скорости и системы передачи определяется соотношением $\Delta t_{\max} = \frac{1}{2} B \div B$, где B - скорость передачи в бит/с.

Так как каналы ТЧ не удовлетворяют этому требованию при применяемых на практике скоростях передачи, то приходится использовать устройства корректирования фазовых искажений. Для обеспечения условий корректирования и обеспечения возможности применения стандартных фазовых корректоров разброс частотных характеристик неравномерности группового времени должен находиться в определенных пределах.

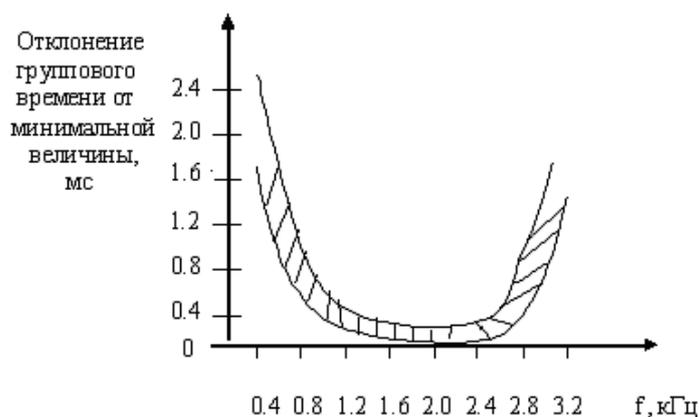


Рис.7.5. Допустимые отклонения ГВЗ

7.5. Амплитудная характеристика

Амплитудной характеристикой канала называют зависимость остаточного затухания от уровня на входе, измеренную при неизменной частоте измерительного генератора $a_{\text{ч}} = \varphi(P_{\text{вх}})$ при $f = \text{const}$ (7.6).

Передающая часть схемы каждого канала ТЧ многоканальной аппаратуры во избежание перегрузки групповых устройств этой аппаратуры снабжается ограничителем амплитуд ОА. Амплитудная характеристика канала на переприемном участке нормируется для двух случаев – при включенном и выключенном ОА. Примерный вид амплитудных характеристик каналов ТЧ многоканальных систем для обоих случаев показан на рис.7.6.

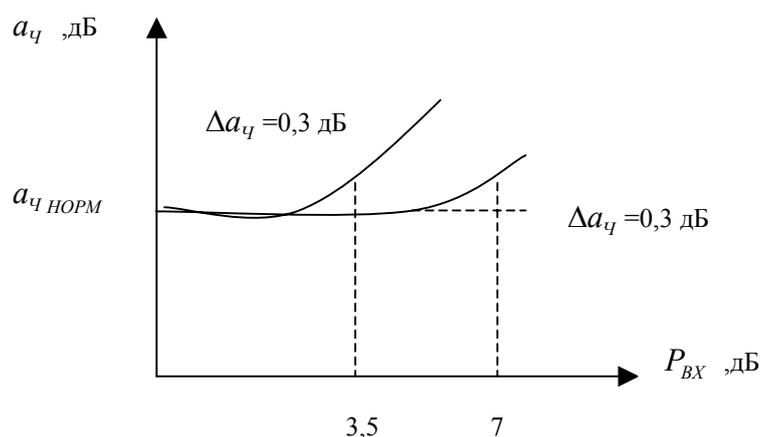


Рис.7.6. Амплитудная характеристика канала ТЧ

Приведенные на рис.7.6 уровни $P_{\text{вх}} = 3,5$ и $7,0$ дБ определяют нормированные значения превышений уровня измерительного тока на входе канала по отношению к номинальному, при которых величина остаточного затухания увеличивается не более, чем на $0,3$ дБ.

При включенном ограничителе амплитуд с повышением уровня измерительного тока на входе канала до $8,7$ и до 19 дБ остаточное затухание канала должно увеличиваться не менее, чем на $1,7$ и $8,2$ дБ, соответственно.

7.6. Коэффициент нелинейных искажений

Амплитудная характеристика определяет порог перегрузки канала, но не дает возможности оценить нелинейные искажения, вносимые каналом до порога перегрузки. Оценка канала с этой точки зрения важна при его вторичном

уплотнении, в связи с чем нормируется еще и коэффициент нелинейных искажений, вносимых каналом при выключенном ограничителе амплитуд. При подаче на вход канала сигнала с частотой 800 Гц и нулевым измерительным уровнем коэффициент нелинейных искажений для одного переприемного участка должен быть не более 1,5% при коэффициенте нелинейности по 3-ей гармонике не более 1%. При n переприемных участках коэффициент нелинейных искажений должен составлять не более $1,5\sqrt{n}\%$.

7.7. Защищенность от помех

Под помехами понимают посторонние токи, частотный спектр которых совпадает со спектром передаваемых сигналов. В каналах связи эти помехи маскируют или искажают сигналы. Основными видами помех в каналах дальней связи являются шумы, которые в телефонном канале маскируют слабые звуки речи и тем самым уменьшают разборчивость передачи; а в каналах передачи данных искажают принимаемые комбинации импульсов.

При оценке и нормировании шумовых помех в канале различают шум, возникающий в каналообразующей аппаратуре оконечных и переприемных станций, и шум линейного тракта. Шум за счет каналообразующей аппаратуры создается, главным образом, оборудованием преобразования частот и источниками электропитания в системах с ЧРК или устройствами квантования по уровню в системах ВРК. Основными источниками помех линейного тракта систем с ЧРК являются тепловые шумы резисторов; шумы транзисторов; шумы, возникающие за счет нелинейного взаимодействия сигналов в линейных усилителях; шумы взаимного влияния каналов параллельных цепей. В системах с ВРК источниками помех линейного тракта являются ошибки линейных регенераторов и джиттер(качание фазы) цифрового линейного сигнала.

Для нормальной передачи любых видов сигналов необходимо обеспечить вполне определенную защищенность канала от шума, определяемую превышением уровня сигнала над уровнем шума на выходе канала. Отсюда следует, что мешающее действие шума можно оценивать также величиной напряжения или мощности шума на выходе канала, отнесенной к точке с определенным значением относительного уровня передачи.

При телефонной передаче мешающее действие отдельных спектральных составляющих шума из-за частотной зависимости чувствительности уха и телефона будет неодинаковым, поэтому шум в этом случае оценивается не действующим напряжением, а психометрическим.

Психометрическим напряжением шума называют напряжение с частотой 800 Гц, мешающее действие которого эквивалентно мешающему действию шума во всем спектре канала. Другими словами психометрическое напряжение шума определяет действующее значение всех составляющих помехи в канале, определенное с учетом частотной характеристики чувствительности уха и телефона. Психометрическое напряжение шума измеряется психометром, представляющим собой вольтметр с квадратичным детектором, на входе которого

включен специальный контур с частотной характеристикой, соответствующей чувствительности уха, телефона и микрофона.

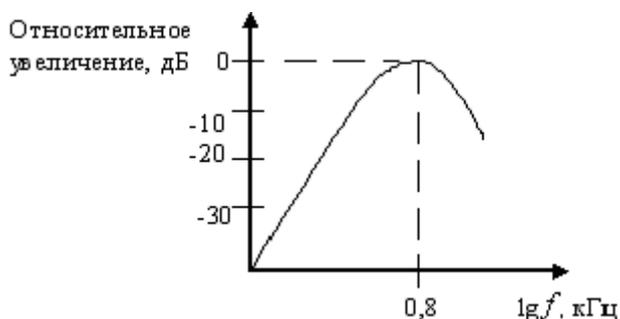


Рис.7.7. АЧХ псофометра

Частотная характеристика псофометра рекомендована МСЭ. Учитывая приведенную на рис.7.7 зависимость k_f от частоты, можно определить псофометрическое напряжение шума в канале следующим образом:

$$U_{n\text{псоф}} = \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} k^2_f U_{nf}^2 df}, \quad (7.6)$$

где f_1 и f_2 - граничные частоты эффективно передаваемой полосы;

U_{nf} - спектральная характеристика напряжения шума;

k_f - частотная зависимость коэффициента передачи псофометра.

В соответствии с этим можно записать $U_{n\text{псоф}} = kU_{ш}$, где k - псофометрический коэффициент шума, определяемый коэффициентом передачи псофометра и спектральной характеристикой шума; $U_{ш}$ - действующее напряжение шума. Для гладкого шума, т.е. шума, спектральная плотность которого равномерна, и эффективно передаваемой полосе телефонного канала 0,3 ÷ 3,4кГц $k=0,75$.

МСЭ нормирует допустимое значение псофометрической мощности шума для каналов гипотетической цепи, относя эту мощность к точке с нулевым относительным уровнем. По этим нормам допускается среднее за любой час значение псофометрической мощности шума для кабельных и радиорелейных линий 10000пВт.

Этой величине мощности соответствует следующее значение защищенности от шума.

$$a_{ш} = P_C - P_{ш} = 10 \lg \frac{P_C}{P_{ш}} = 10 \lg \frac{1\text{мВт}}{10000 * 10^{-9} \text{мВт}} = 50 \text{ дБ.}$$

Данной величине мощности соответствует псофометрическое напряжение шума на выходе канала 1,1 мВ с остаточным затуханием в 0,7 дБ.

Из общей допустимой мощности шума на преобразовательное оборудование оконечной аппаратуры уплотнения и аппаратуры переприемных

станций отводится 2500 пВт. А на шум за счет линии и промежуточных усилителей, т.е. на линейный тракт отводится 7500 пВт.

7.8. Организация двухсторонних каналов

Для возможности непрерывного общения двух абонентов телефонный канал должен быть каналом двухстороннего действия. Двухсторонний канал организуется на основе разделения направлений передачи. Разделение направлений передачи образуется следующими способами: разделение в пространстве, разделение по частоте, разделение с помощью дифсистемы и разделение во времени.

1. Разделение в пространстве встречается наиболее часто и осуществляется с помощью разнесения направлений передачи по разным физическим цепям – разным симметричным парам в симметричном кабеле, разным коаксиальным трубкам в коаксиальном кабеле, разным волокнам в волоконно-оптическом кабеле.

При разделении направлений передачи в коаксиальном и волоконно-оптическом кабеле взаимное влияние между направлениями передачи в силу экранирующего действия наружной оболочки в коаксиальном кабеле или эффекта полного внутреннего отражения в волоконно-оптическом кабеле пренебрежимо мало. В симметричном кабеле из-за неидеальной симметрии пар имеет место влияние направлений передачи, которое, в основном, и ограничивает величину переприемного участка системы передачи.

Защищенность от переходной помехи определяется разностью между уровнем полезного сигнала на выходе подверженного влиянию канала или тракта и уровнем переходной помехи на том же выходе, т.е. $a_3 = P_C - P_{II}$. Различают влияние на ближний и дальний конец.

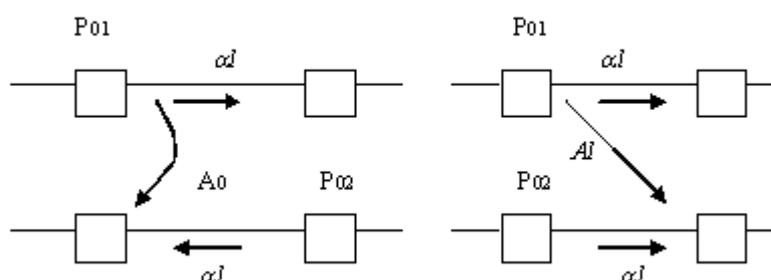


Рис.7.8. Переходная помеха на ближнем и дальнем конце

Влияние на ближний конец возникает, когда разные направления передачи совмещены в одном кабеле (однокабельная система работы). Влияние на дальний конец – когда направления передачи разнесены по разным кабелям (двухкабельная система работы).

Оценивая влияние на ближайший конец, запишем $P_C = P_{02} - \alpha l$, $P_{II} = P_{01} - A_0$, где P_{01} и P_{02} - уровень сигнала на передающих концах цепи, подверженной

влиянию, и влияющей цепи; A_0 - результирующее затухание переходных токов на ближнем конце. В соответствии с этим

$$a_{30} = A_0 - \alpha l - (P_{01} - P_{02}), \quad (7.7).$$

Аналогично защищенность на дальнем конце

$$a_{3l} = A_l - \alpha l - (P_{01} - P_{02}), \quad (7.8)$$

где A_l - результирующее затухание переходных токов на дальнем конце. Таким образом, при $P_{01} = P_{02}$

$$a_{30} = A_0 - \alpha l, \quad a_{3l} = A_l - \alpha l. \quad (7.9)$$

Так как A_l всегда значительно больше A_0 , то защищенность на дальнем конце заметно превышает защищенность на ближнем конце. Физически это объясняется тем, что при влиянии на дальний конец подверженная влиянию и влияющая цепи имеют одинаковые уровни, а при влиянии на ближний конец влияющая цепь имеет уровень, на величину рабочего затухания αl превышающий уровень цепи, подверженной влиянию.

2. Разделение по частоте или двухполосная двухпроводная система двухсторонней связи

Встречные направления передачи можно разделять, не только вынося их на отдельные пары проводов. Можно также, применяя одну пару проводов, использовать для отдельных направлений передачи разные полосы частот. Такая система организации двухпроводной связи получила название двухполосной двухпроводной.

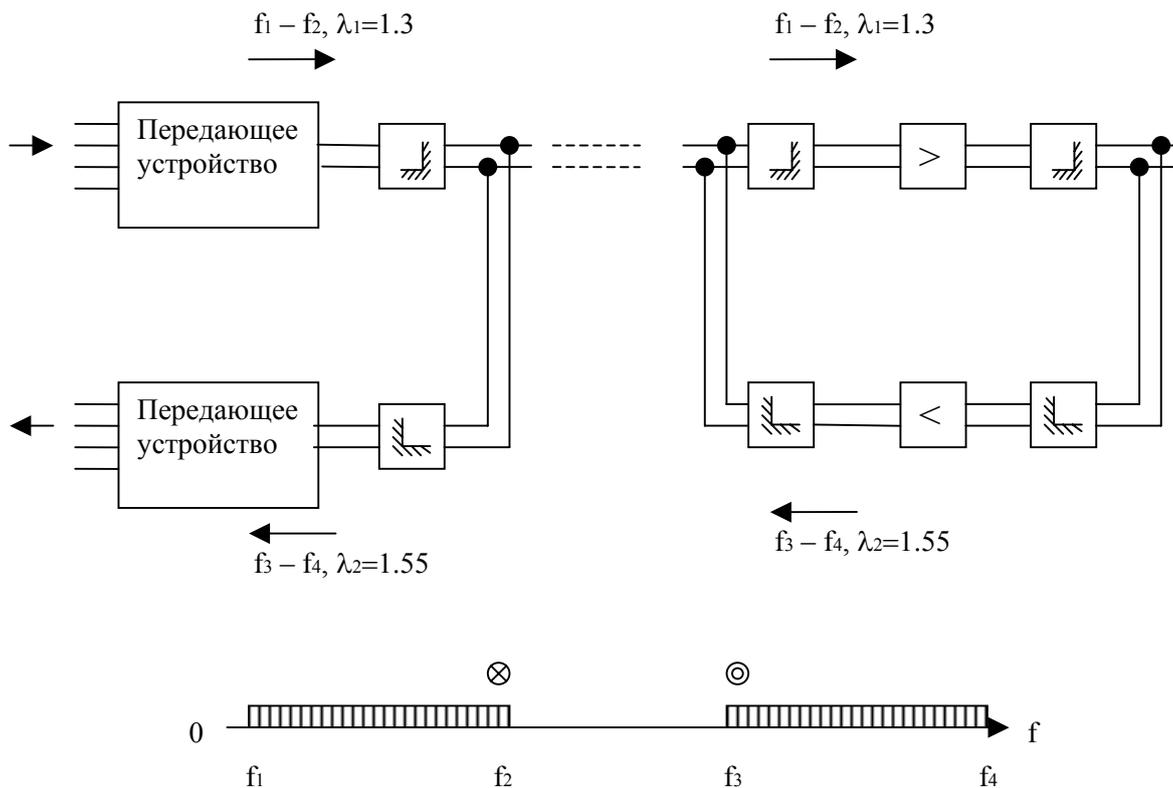


Рис.7.9. Двухполосная двухпроводная схема связи

На одной и той же паре проводов оборудуются два многоканальных тракта: один в полосе от f_1 до f_2 , другой в полосе от f_3 до f_4 . Эти полосы разделены интервалом $f_2 - f_3$, в котором находятся частоты среза двух фильтров – ФНЧ и ФВЧ. Фильтры разделяют направления передачи в оконечных и промежуточных пунктах и поэтому называются направляющими. Взаимные влияния между направлениями передачи в этом случае определяется качеством направляющих фильтров.

Оптическим аналогом данной схемы является дуплексная передача по одному волокну с разнесением направлений передачи на разные длины волн.

3. Разделение с помощью дифсистемы

Для двухпроводных линий направления передачи можно разделять также при помощи дифференциальных систем, сохраняя для обоих направлений одну и ту же полосу частот.

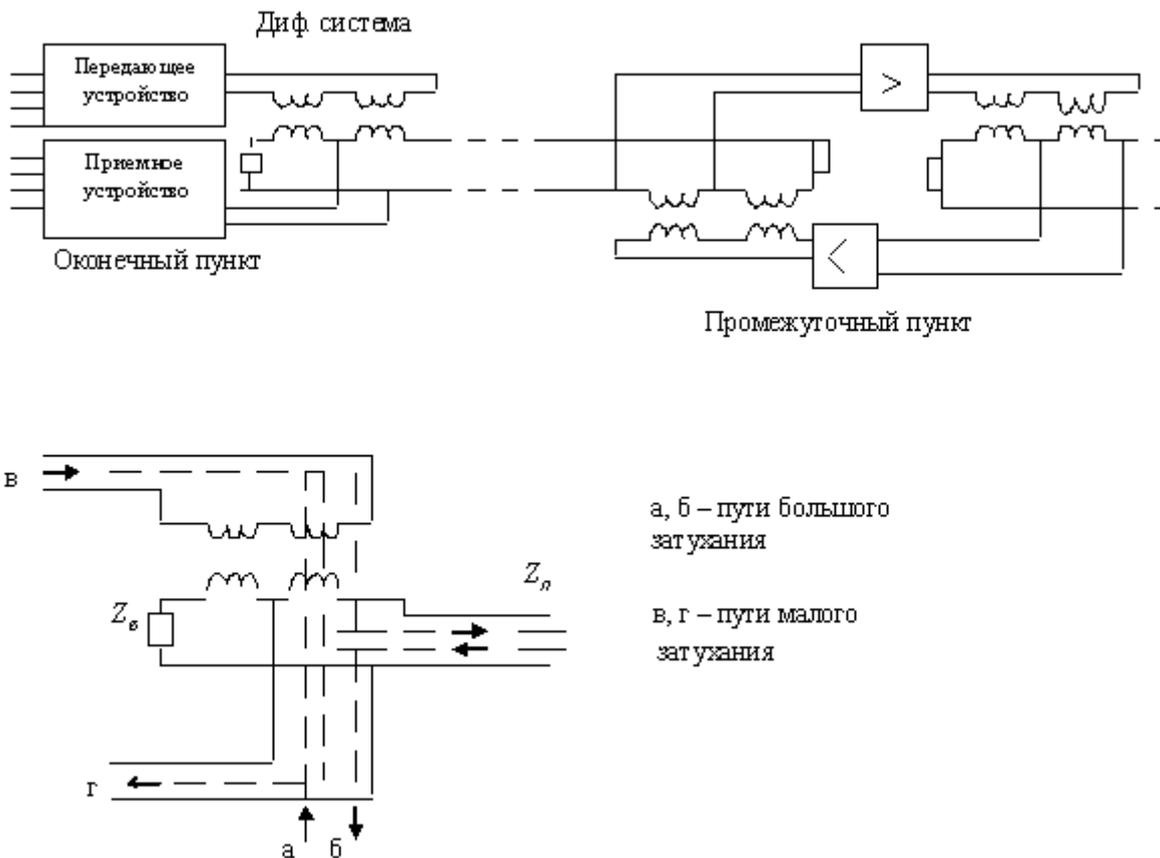


Рис.7.10. Однополосная двухпроводная схема связи

На рис.7.10 показана система двухсторонней связи, оборудованная дифференциальными системами. Такую систему называют однополосной двухпроводной. Дифференциальная система представляет собой сочетание дифференциального трансформатора и балансного сопротивления. Предположим, что обе части дифференциальной обмотки трансформатора содержат равное количество витков. Сопротивление Z_B , называемое балансным рассчитывают таким образом, чтобы оно было равно входному сопротивлению $Z_{л}$ линии. Тогда ток с выхода передающего устройства будет индуцировать в половинках дифференциальной обмотки равные и противоположные по фазе ЭДС. Напряжение на проводниках, соединенных со входом приемного устройства, будет равно нулю. Про такую дифференциальную систему говорят, что она сбалансирована. В практических условиях добиться идеальной балансировки не удастся, но, тем не менее, дифференциальная система может вносить между цепями встречных направлений передачи затухания значительной величины.

В направлениях от передающего устройства к линии и от линии к приемному устройству дифференциальная система будет также вносить некоторые затухания, однако они могут быть сделаны достаточно малыми.

В частности,

$$b_{пер-лин} = 10 \lg 2 = 3 \text{ дБ}$$

$$b_{лин-пр.} = 10 \lg 2 = 3 \text{ дБ.}$$

Дифференциальная система может быть цифровой, когда направления передачи и приема разделяются ключами, работающими с частотой дискретизации $f_d \geq 2f_B$. В этом случае рабочее затухание дифференциальной системы в каждом из направлений также равно 3 дБ.

Оптическим эквивалентом дифференциальной системы является оптический циркулятор. ОЦ представляет собой невзаимное устройство, которое может распределять поступающее оптическое излучение в различные порты в зависимости от направления распространения излучения. Невзаимность свойств ОЦ обусловлена эффектом невзаимного поворота плоскости поляризации (эффект Фарадея) в магнитоупорядоченных кристаллах, в частности в кристаллах ферритов – гранатов.

В зависимости от качества выполнения оптических элементов и точности их юстировки величина вносимых потерь в прямом и обратном канале может составлять $0,8 \div 1,6$ дБ. Максимальная величина изоляции из-за рассеяния на различных дефектах в кристаллах ограничивается уровнем $40 \div 45$ дБ.

Таким образом, использование дифференциальной системы представляется на первый взгляд заманчивым, т.к. благодаря применению одной полосы частот (одной длины волны) расстояние между переприемными участками могло бы быть получено гораздо большим, чем в случае двухплоской системы. Но существенным, основным недостатком дифференциальной системы является то, что она не отличает отраженный в линии сигнал от полезного сигнала, приходящего с дальнего конца. Этот факт в конечном итоге ограничивает область применения дифференциальной системы. Тем не менее, в настоящее время широкое распространение получила технология HDSL, основанная на принципе разделения направлений передачи с помощью цифровой дифференциальной системы и цифровых методов эхоподавления. Таким способом удастся реализовать длины переприемных участков на симметричных кабелях до 20 км при скорости передачи 2048 кбит/с.

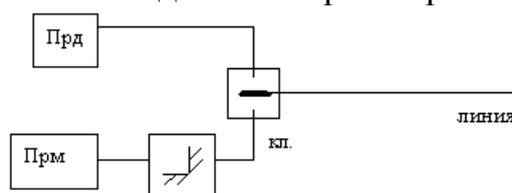


Рис.7.11. Цифровая дифсистема

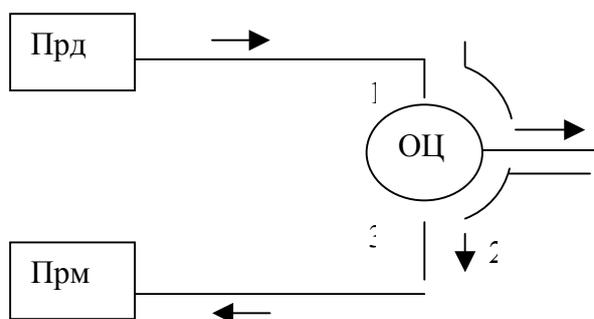


Рис.7.12 Оптический аналог дифсистемы

7.9. Разделение во времени

Разделение направлений передачи во времени осуществляется на основе принципов коммутации пакетов и используется в локальных сетях передачи данных, где не требуется общения между источниками и приемниками информации в реальном масштабе времени. Дело в том, что при организации связи в реальном масштабе времени с временным разделением направлений передачи между источником и приемником информации возникают недопустимо большие задержки в результате пакетирования информации. Именно по этой причине не прижилась передача методом “пинг-понг”, которую пытались использовать на соединительных линиях до появления технологии HDSL.

8. Принципы построения систем передачи с частотным разделением каналов

В системах передачи с частотным разделением каналов (ЧРК) исходным сигналам разных каналов в линейных трактах отводятся определенные полосы частот. Требуемая ширина полосы частот линейного тракта определяется способом передачи канального сигнала и числом каналов. Для более эффективного использования дорогостоящих линейных сооружений желательно в определенной полосе частот организовать как можно больше каналов, т.е. спектр канального сигнала должен быть как можно уже. Известно, что самый узкий спектр канального сигнала имеет место при использовании амплитудной модуляции и передаче в линию одной боковой полосы частот (ОБП). Поэтому в системах передачи с ЧРК используется этот метод передачи.

Для преобразования спектров исходных сигналов в отводимые для них полосы частот линейного тракта на передающей станции применяются модуляторы. На приемной станции канальные сигналы разделяются полосовыми фильтрами. Для восстановления исходных сигналов используются демодуляторы, включенные на выходе полосовых фильтров.

При модуляции и демодуляции кроме полезных частотных составляющих возникают побочные продукты преобразования, большая часть которых подавляется фильтрами, включенными на выходах модуляторов и демодуляторов. Таким образом, основой построения систем передачи с ЧРК является преобразование сигналов в частотной области, осуществляемое с помощью нелинейных и параметрических устройств, с применением электрических фильтров.

Если при построении систем передачи с ЧРК эти устройства для каждого сигнала являются отдельными и повторяются в составе оконечной и промежуточной аппаратуры столько раз, на сколько каналов рассчитана система передачи, то такой метод построения систем передачи называется

индивидуальным. Если отдельной для каждого канала является только часть устройств оконечной аппаратуры, а остальные ее устройства и устройства промежуточной аппаратуры являются общими для всех каналов, то такой метод построения системы передачи называется групповым.

Идея группового метода построения систем передачи позволила резко уменьшить в составе оконечного оборудования число фильтров, т.е. облегчила возможность создания фильтров каналов с однородными характеристиками и возможность построения систем передачи с ЧРК практически с любым числом каналов.

Использование на промежуточных станциях одного усилителя для усиления сигналов во всех каналах не требует применения канальных фильтров – основных источников амплитудно-частотных искажений в каналах. Поэтому возможно включение очень большого числа промежуточных усилителей, т.е. осуществление связи практически на любые расстояния.

Как следует из сказанного, промежуточная аппаратура систем передачи, построенная таким образом, проще, а следовательно, и дешевле. Кроме того, групповой принцип построения систем передачи позволяет стандартизировать значительную часть оборудования оконечной аппаратуры разной канальности.

Существенным недостатком систем передачи, построенных по групповому методу, является необходимость установки всего оборудования вне зависимости от потребного количества связей на данный момент времени, а также необходимость применения специальной аппаратуры выделения в промежуточных пунктах для установления связи этого пункта с другими пунктами магистрали.

При построении систем передачи с ЧРК по групповому методу используется многократное преобразование частоты. Первичные сигналы несколько раз преобразуются по частоте, прежде чем передаются в линию. На приемной оконечной станции осуществляются аналогичные преобразования, но в обратном порядке.

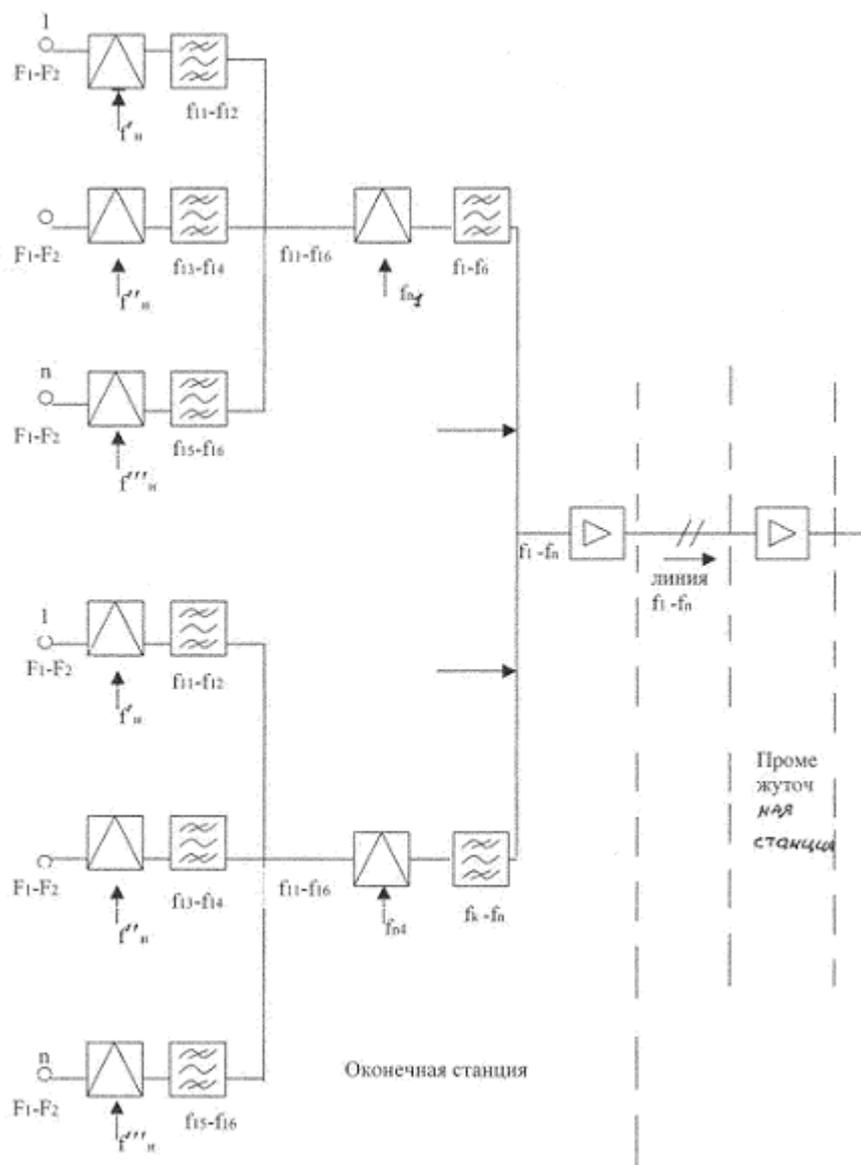


Рис.8.1. Система передачи с ЧРК

В первой ступени, называемой ступенью индивидуального преобразования, одинаковые исходные частотные полосы от n_1 различных источников преобразуются в n_1 - канальные сигналы, размещенные в неперекрывающихся полосах частот, образуя n_1 - канальный сигнал. Вторая и последующие ступени преобразования являются групповыми. Во второй ступени n_2 одинаковых частотных полос n_1 - канального сигнала преобразуются в общий $n_1 n_2$ - канальный сигнал. В следующей ступени преобразования образуется $n_1 n_2 n_3$ - канальный сигнал путем переноса n_3 одинаковых частотных полос $n_1 n_2$ - канального сигнала в неперекрывающиеся полосы частот. Образованную вышеуказанным способом группу из n_1 - канальных сигналов называют первичной группой каналов. Необходимо иметь в виду, что первичная группа может быть образована двукратным преобразованием частоты. В этом случае первичная группа объединяет несколько так называемых предгрупп. Группу $n_1 n_2$ - канальных

сигналов, полученную объединением n_2 первичных групп, называют вторичной группой каналов. Группу $n_1 n_2 n_3$ - канальных сигналов, полученную объединением n_3 вторичных групп, называют третичной группой каналов.

При построении оконечной аппаратуры на очень большое количество каналов можно использовать четвертичные и пятеричные группы каналов. Каждая из этих групп образуется объединением, соответственно, нескольких третичных и четверичных групп.

Совокупность оборудования этих групп носит название каналообразующей аппаратуры, назначение которой заключается в преобразовании N исходных сигналов, занимающих полосу частот 0,3-3,4 кГц, в групповой сигнал одной из разновидностей стандартных групп. Каналообразующая аппаратура различных систем передачи необязательно содержит все перечисленные выше группы. В зависимости от общего числа каналов она может состоять только из первичных групп, первичных и вторичных и т.д.

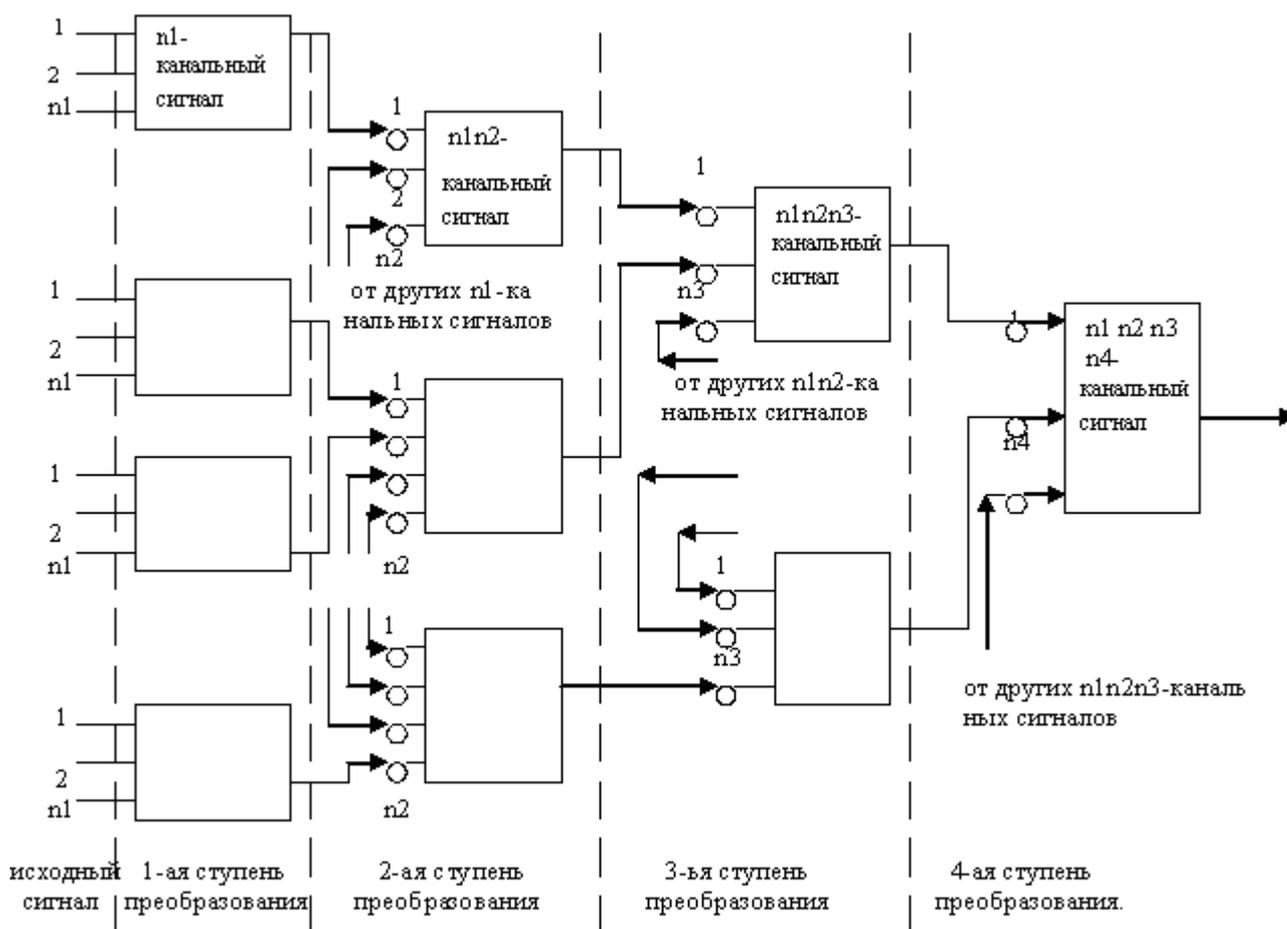


Рис.8.2. Многоступенчатое преобразование частоты

Построение каналообразующей аппаратуры по групповому принципу позволяет использовать фильтры в оптимальном для реализации требуемых характеристик диапазоне частот, что значительно облегчает массовое производство высококачественных фильтров. Кроме того, число наиболее

сложных в изготовлении канальных полосовых фильтров для любой системы передачи равно n_1 . Высококачественные полосовые фильтры дают возможность свести до минимума частотный промежуток между каналами в n_1 -канальной группе и отвести на каждый канал одинаковую по ширине полосу частот. Многократное преобразование частоты позволяет сохранить частотные промежутки между каналами в линейном спектре такими же, как в первой n_1 -канальной группе.

Использование каналообразующей аппаратуры позволяет строить оконечную аппаратуру любых систем передачи на основе использования стандартного преобразовательного оборудования и, следовательно, создать единое унифицированное каналообразующее оборудование для различных систем передачи.

Оборудование, предназначенное для преобразования спектра частот на выходе каналообразующей аппаратуры в определенный для системы передачи линейный спектр, называется аппаратурой сопряжения. Аппаратура сопряжения содержит, как правило, одну ступень преобразования. Однако, если спектр группового сигнала на выходе каналообразующей аппаратуры частично или полностью совпадает с линейным спектром частот, то используется две ступени преобразования. При применении в этом случае только одной ступени преобразования неизбежны значительные искажения, вызванные непосредственной передачей исходного сигнала через преобразователь.

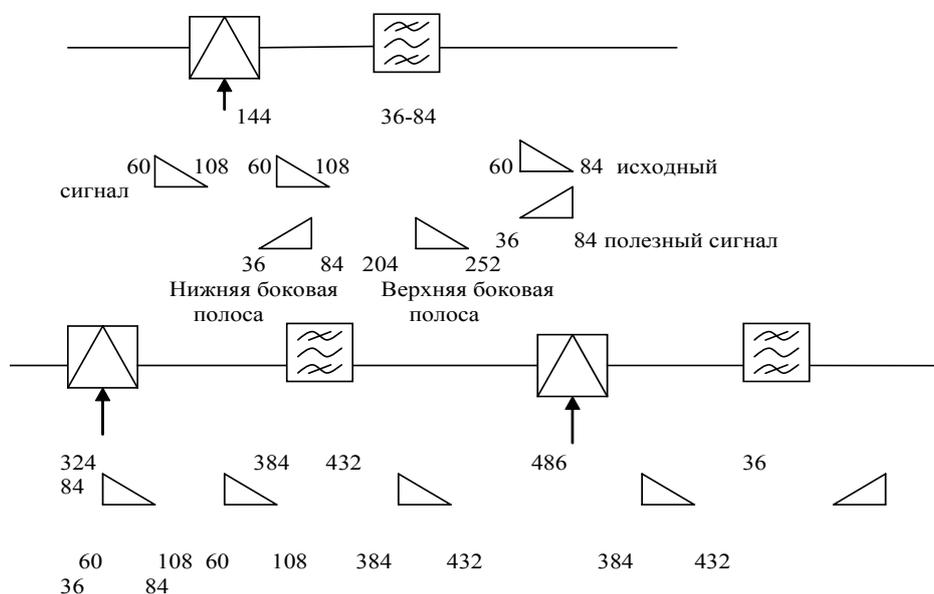


Рис.8.3. Устранение взаимных искажений исходного и полезного сигнала

Поясним это на примере формирования нижней группы частот линейного спектра системы передачи по воздушным линиям связи типа В-12-3. Каналообразующая аппаратура этой системы передачи состоит только из первичной группы, спектр частот которой 60-108 кГц.

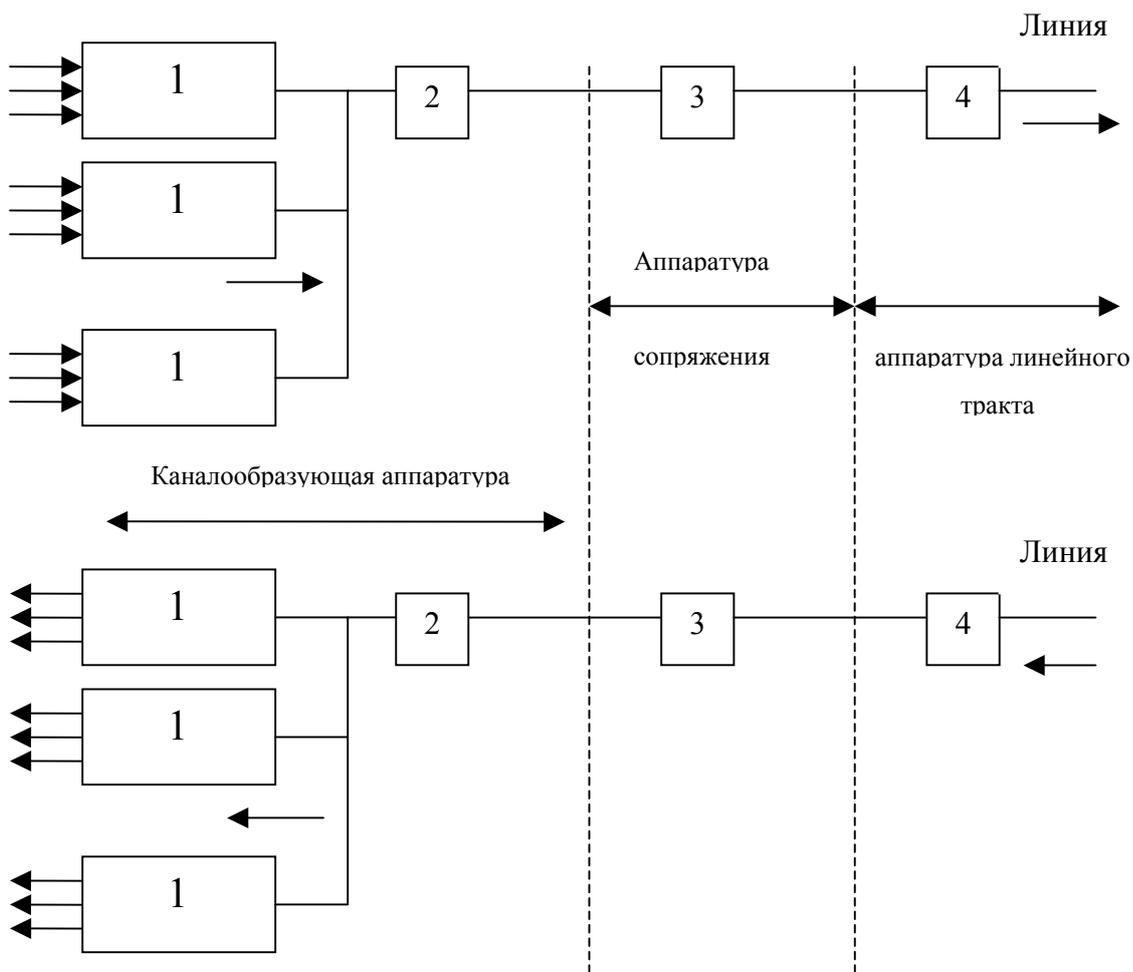
При использовании одной ступени преобразования для получения линейного спектра вследствие непосредственной передачи исходного сигнала через преобразователь на выходе полосового фильтра с полосой пропускания 36-84 кГц наряду с полезным сигналом будет присутствовать исходный сигнал, занимающий полосу частот 60-84 кГц. Следовательно, в 7-12 м каналах, занимающих в линейном спектре полосу частот 60-84 кГц, возникнут искажения. Для устранения этих искажений в системе передачи В-12-3 применяется дополнительная ступень преобразования с помощью несущей 324 кГц. Требуемая линейная полоса частот 36-84 кГц получается посредством второй ступени преобразования с использованием несущей 468 кГц. В этом случае в обеих ступенях преобразования сигналы на входе и выходе преобразователей значительно отличаются друг от друга по шкале частот и попавшие на выход преобразователя исходные сигналы подавляются фильтрами, выделяющими полезные боковые полосы частот.

Наиболее благоприятные условия для передачи полученного на выходе аппаратуры сопряжения линейного спектра призвана осуществлять оконечная аппаратура линейного тракта. Линейным трактом называется часть группового тракта систем передачи, в которой передача сигнала осуществляется в линейном спектре частот. В состав оконечной аппаратуры линейного тракта обычно входят усилители, устройства автоматического регулирования уровня (АРУ), направляющие фильтры и т.д.

Таким образом, оконечная аппаратура любой системы передачи состоит из каналообразующей аппаратуры, оконечной аппаратуры линейного тракта и аппаратуры сопряжения. Использование унифицированной каналообразующей аппаратуры позволяет помимо стандартных каналов ТЧ образовывать широкополосные каналы, предназначенные для высокоскоростной передачи данных и т.п.

При создании магистралей с большим числом каналов обычно имеется необходимость осуществления высокочастотного транзита групп каналов из одного участка магистрали в другой или из одной магистрали в другую. Наличие унифицированной стандартной каналообразующей аппаратуры облегчает решение этой задачи.

Расположение спектра каждого канала в линейном спектре частот, полученное путем многократного преобразования удобно характеризовать так называемой виртуальной несущей частотой. Виртуальной несущей частотой называется воображаемая несущая частота, с помощью которой можно было бы исходную полосу частот переместить в линейную путем однократного преобразования, минуя все промежуточные ступени преобразования.



- 1- индивидуальное преобразование
- 2- групповое преобразование
- 3- аппаратура сопряжения
- 4- оконечная аппаратура линейного тракта

Рис.8.4. Состав оборудования систем передачи с ЧРК

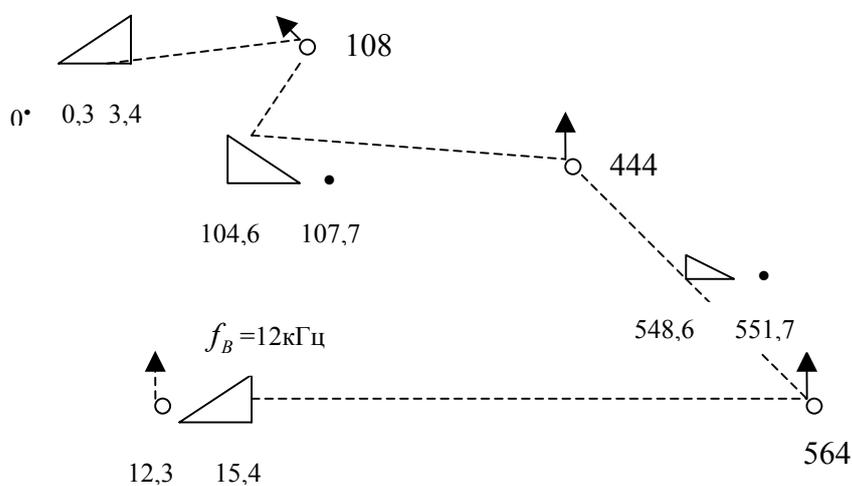


Рис.8.5. Виртуальная несущая частота

Поясним это на примере. Первый канал системы передачи К-60 занимает в линейном спектре полосу 12,3-15,4 кГц. Эта полоса частот образуется путем использования трех ступеней преобразования. Как видно из рис. Виртуальной несущей частотой, с помощью которой исходный сигнал 0,3-3,4 кГц мог бы быть перенесен в линейный спектр 12,3-15,4 кГц одной ступенью преобразования является частота 12 кГц.

8.1. Методы формирования и передачи канальных сигналов в СП с ЧРК

В каналообразующей аппаратуре в настоящее время принято следующее группообразование. В качестве первичной группы используется двенадцатиканальная группа. Вторичная группа формируется путем объединения пяти первичных групп, третичная группа – объединения пяти вторичных групп, четвертичная - объединения трех третичных групп.

Полосы частот каждой из групп выбирались так, чтобы абсолютная и относительная ширина их были как можно меньше. При этом учитывалась возможность изготовления фильтров, выделяющих требуемую боковую полосу частот, и необходимость выделения этих групп каналов в промежуточных усилительных пунктах.

Абсолютная ширина спектра частот первичной группы зависит от полосы частот, занимаемой каналом ТЧ. Т.к. до настоящего времени наибольшее число каналов в системе передачи используется для передачи речи, то требуемая ширина полосы частот 0,3 ÷ 3,4 кГц. Однако расстояние между виртуальными несущими частотами соседних каналов выбирается равным 4кГц. Интервалы в 0,9 кГц между полосами соседних каналов необходимы для обеспечения требуемой крутизны нарастания затухания фильтров при переходе от полосы пропускания к полосе задерживания. Таким образом, ширина спектра первичной двенадцатиканальной группы составляет 48 кГц.

Выбор спектра частот для стандартной первичной группы основывался на следующих соображениях. Относительная ширина спектра частот группы должна быть не только как можно уже, но и меньше двух. В этом случае вторые и более высокие гармоники всех составляющих этого спектра, а также комбинационные частоты второго порядка оказываются вне полосы группы. Поэтому желательно выбирать спектр группы в области более высоких частот. Однако это потребовало бы использования в качестве несущих частот более высокие гармоники частоты 4 кГц, что усложнило бы генераторное оборудование. С этих позиций спектр группы желательно выбирать в области более низких частот. В качестве компромисса был выбран спектр 60-180 кГц. В этом диапазоне частот оказалось более удобным осуществить изготовление и эксплуатацию кварцевых и магнитоотриксционных фильтров, которые часто используются для подавления неиспользуемой боковой полосы. В этом диапазоне такие фильтры обладают достаточно хорошей однородностью и высокой стабильностью характеристик.

Известно несколько способов формирования стандартной первичной группы: с использованием одной ступени преобразования, с использованием двух индивидуальных ступеней преобразования; с применением двух ступеней преобразования на основе четырех предварительных трехканальных групп.

При формировании стандартной группы с использованием одной ступени преобразования получение 12 различных боковых полос осуществляется 12 индивидуальными преобразователями передачи, на которые подаются 12 различных несущих частот (64,68,...108 кГц).

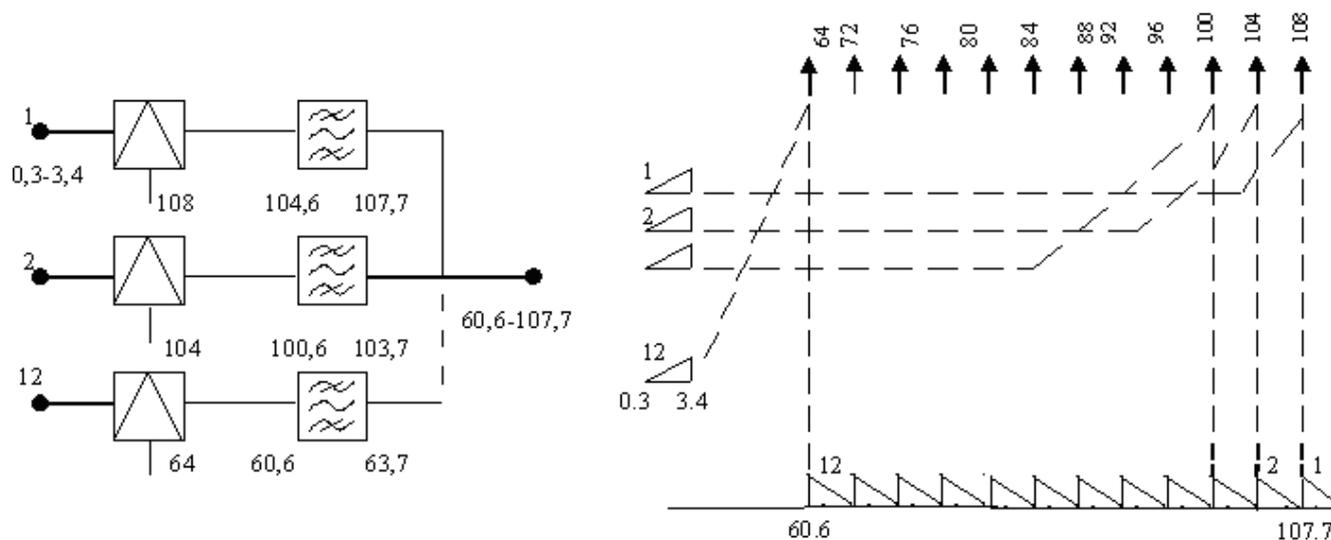


Рис.8.6. Формирование с использованием одной ступени преобразования

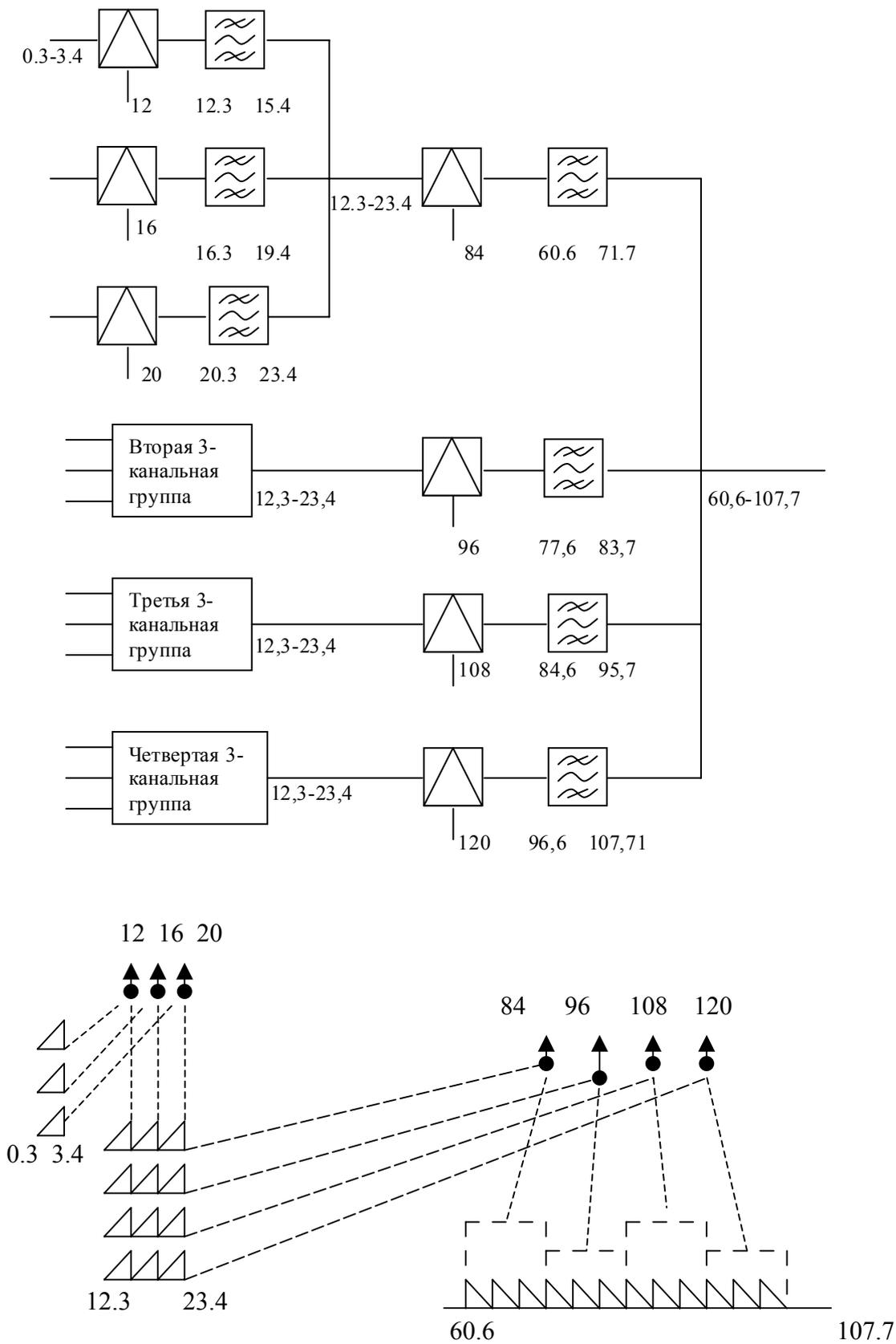


Рис.8.7. Использование трехканальных предгрупп

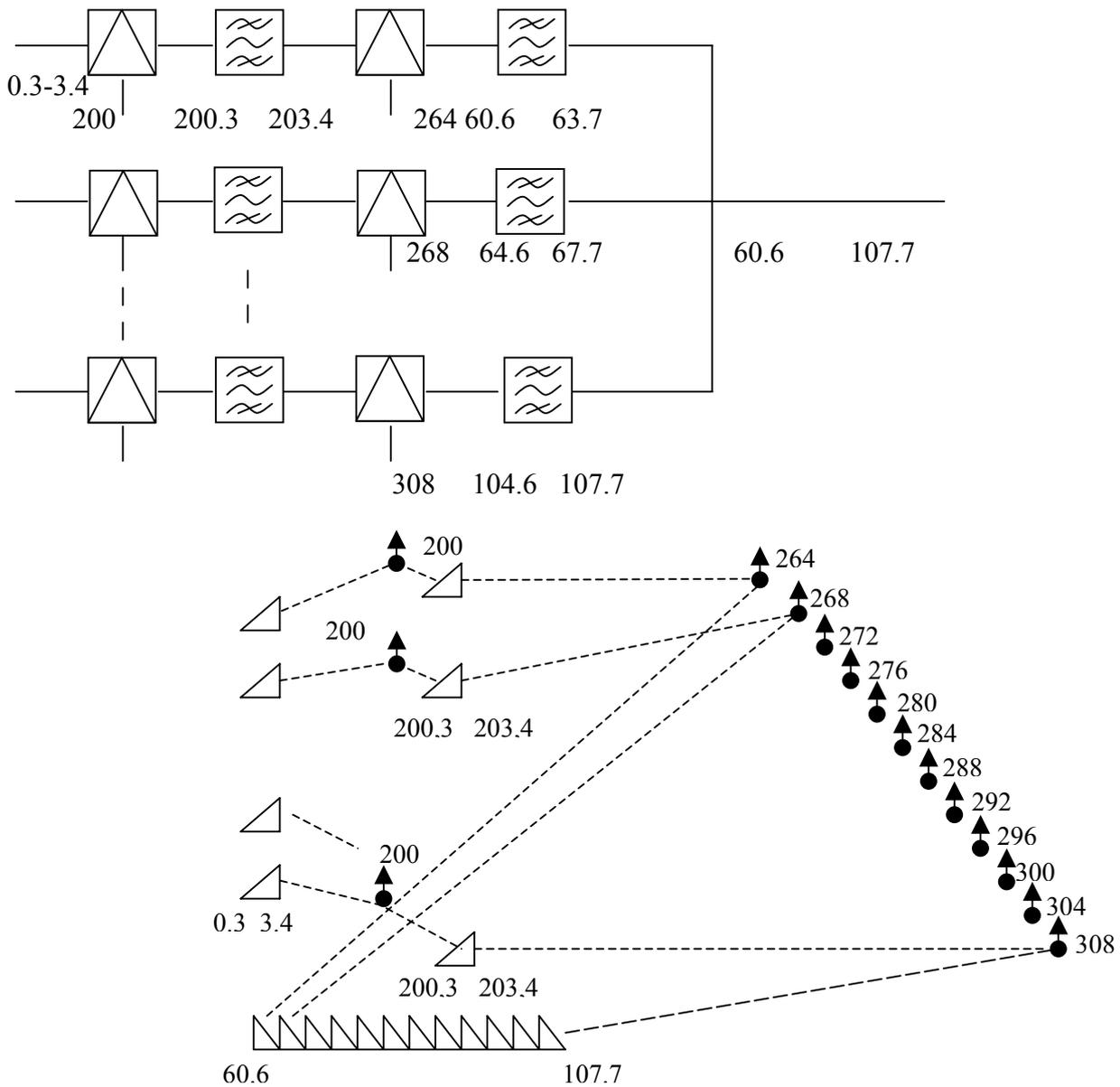


Рис.8.8. Использование двух ступеней преобразования

Выделение полезных (нижних боковых) полос и подавление побочных продуктов преобразования производится с помощью 12 полосовых канальных фильтров. На приемном конце аналогичные фильтры полосе частот 60-108 кГц распределяют на входы соответствующих индивидуальных преобразователей приема, на выходе которых с помощью фильтров низкой частоты выделяются исходные полосы частот 0,3-3,4 кГц.

Степень подавления неиспользуемой боковой полосы будет достаточной, т.е. мешающее влияние между каналами группы будет отсутствовать, если крутизна характеристики затухания полосового канального фильтра будет не менее 0,1-0,13 дБ/Гц. Требуемую крутизну затухания в полосе частот 60-108 кГц могут обеспечить только кварцевые и магнестрикционные фильтры. Таким образом, при одноступенчатом формировании первичной

стандартной группы необходимо использовать 12 различных дорогостоящих фильтров.

Для уменьшения числа типов полосовых канальных фильтров и их удешевления в некоторых системах передачи оборудование 12-канальной стандартной группы строится из четырех трехканальных групп, т.е. используется предварительная модуляция. Каждая трехканальная группа формируется путем преобразования исходных сигналов индивидуальными преобразователями с помощью несущих частот 12, 16 и 20 кГц. Полученные после первой ступени преобразования верхние боковые полосы частот трех каналов, примерно 12-24 кГц, подаются на групповые преобразователи с несущими 84, 96, 108 и 120 кГц. На выходе групповых преобразователей включены групповые полосовые фильтры, каждый из которых соответственно выделяет нижние боковые полосы частот, примерно, 60-72, 72-84, 84-96 и 96-108 кГц. На приемном конце преобразование осуществляется в обратном порядке.

Для второй ступени преобразования используются несущие частоты 264, 268, ..., 304 и 308 кГц. Требуемая крутизна характеристики фильтров, выделяющих после преобразования в нижнюю боковую полосу частот, незначительна, т.к. увеличивается частотный промежуток между полезными и подавляемыми полосами частот. Поэтому здесь используются фильтры типа LC.

Каждый из этих методов формирования первичной стандартной группы имеет свои достоинства и недостатки. При первом методе формирования используется одна ступень преобразования. Наличие второй ступени преобразования вызывает увеличение количества узлов оборудования группы и может привести к его удорожанию. Кроме того, это же обстоятельство может увеличить искажения и помехи в каналах. Но при первом методе построения необходимо использовать 12 различных канальных фильтров с высокой селективностью. При втором методе формирования группы используются избирательные канальные полосовые фильтры всего трех типов. Это простые в изготовлении и дешевые фильтры LC. После второй ступени преобразования применяются также простые фильтры LC. При третьем методе – полосовые канальные фильтры одинаковые, что удешевляет их производство. После второй ступени преобразования используются, как и при втором методе, относительно простые фильтры LC.

Выбор того или иного метода формирования первичной группы в системах передачи определяется многими факторами и в первую очередь технологией изготовления и стоимостью изготовления отдельных узлов оборудования группы.

При выборе положения спектров вторичной и третичной групп на шкале частот исходили их тех же предпосылок, что и при выборе спектра частот первичной группы, а именно: учитывалась необходимость уменьшения относительной ширины выбираемого спектра и возможность использования в качестве несущих частот более низких гармоник частоты 4кГц. В максимальной степени этим противоречивым требованиям отвечает для вторичной стандартной группы полоса частот 312-552 кГц, а для третичной 812-2044 кГц.

Как отмечалось выше, вторичная стандартная группа формируется из пяти первичных групп. Полоса частот каждой из 12-канальных групп с помощью группового преобразования перемещается в такой спектр, чтобы общая полоса частот составляла 312-552 кГц.

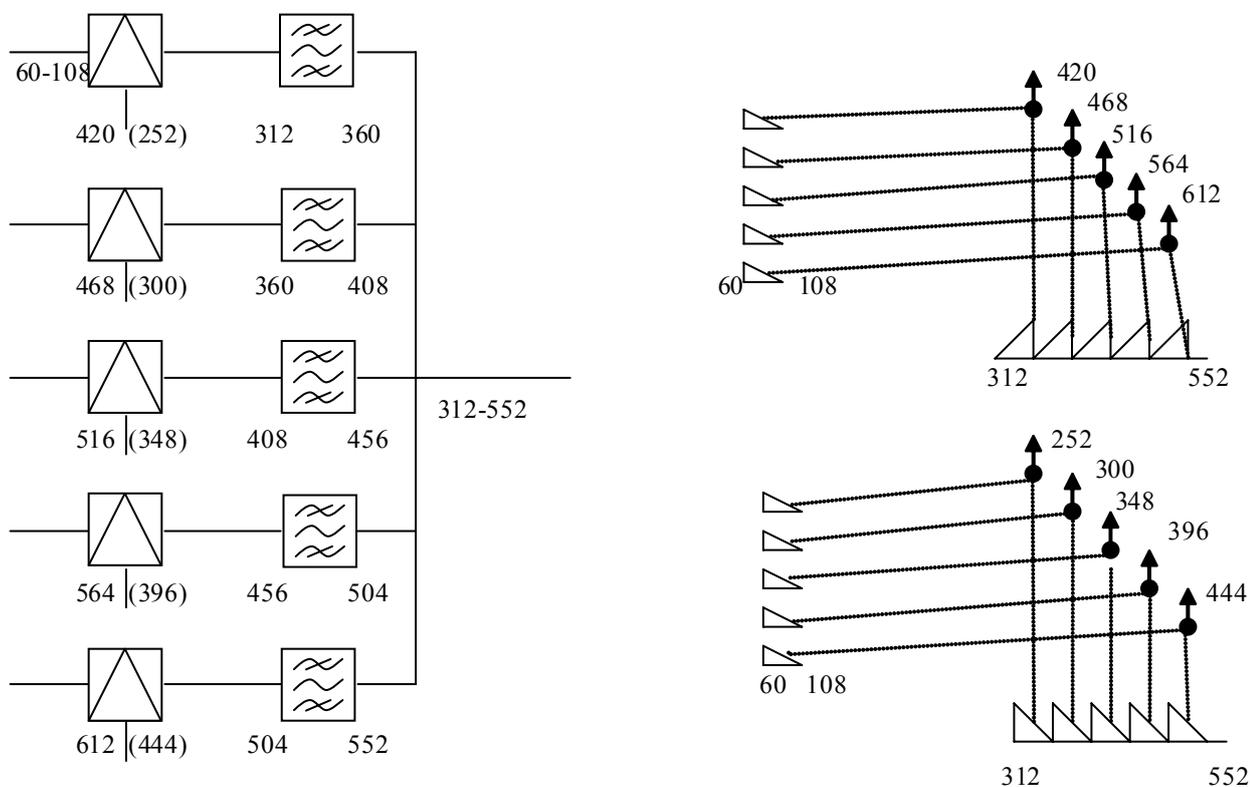


Рис.8.9. Формирование вторичной стандартной группы

Если в качестве несущих используются частоты 420, 468, 516, 564 и 612 кГц, то такая вторичная группа называется основной. При несущих частотах 252, 300, 348, 396 и 444 кГц получается так называемая инверсная вторичная группа.

В некоторых системах передачи используется вторичная стандартная группа, отличающаяся от основной обратным расположением пятой первичной группы. Для этого вместо несущей частоты 612кГц используется частота 444кГц.

Неиспользуемые боковые полосы и побочные продукты преобразования подавляются с помощью групповых полосовых фильтров 321-360; 360-408; 408-456; 456-504 и 504-552 кГц. Требования к крутизне нарастания этих фильтров незначительны и легко реализуются с помощью фильтров LC. Объясняется это наличием значительного частотного промежутка между пропускаемой и подавляемой полосами.

Третичная стандартная группа (812-2044 кГц) формируется из пяти основных вторичных стандартных групп. Введение между преобразованными 60-канальными группами частотных промежутков в 8 кГц необходимо для облегчения задачи выделения 60-канальных групп на оконечных и промежуточных станциях.

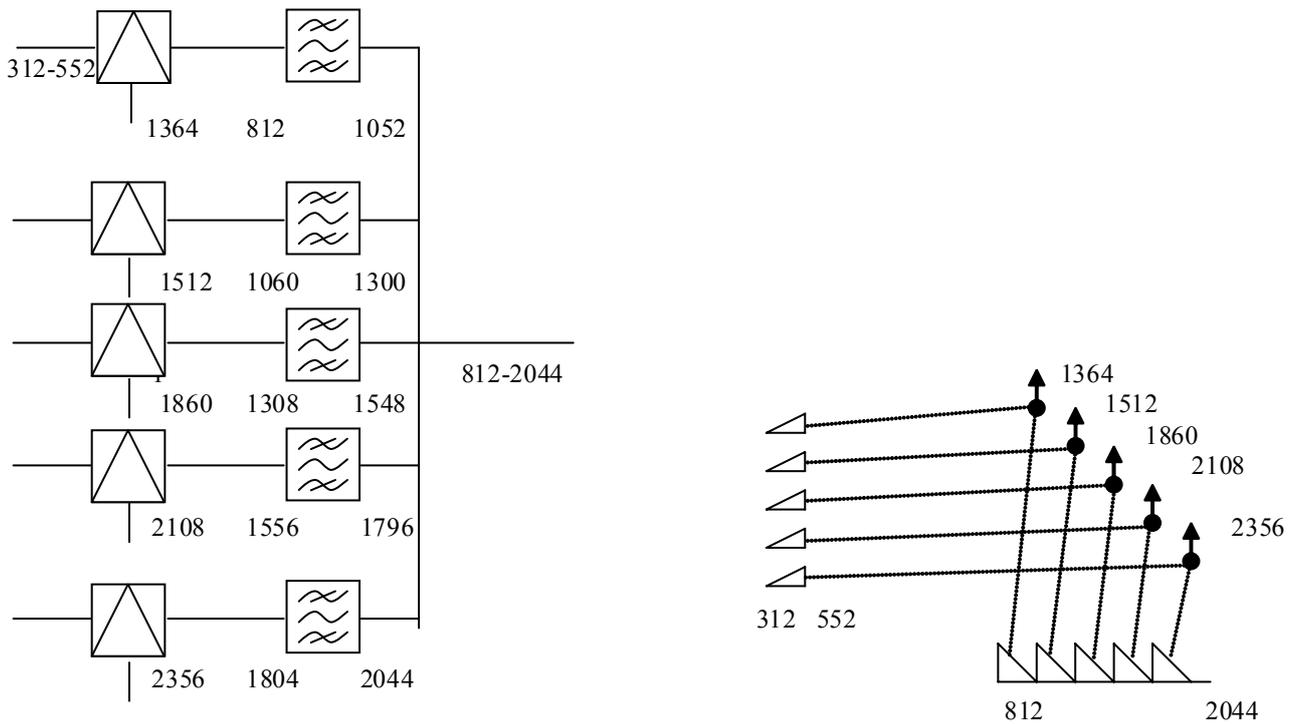


Рис.8.10. Третичная стандартная группа

При формировании стандартной четвертичной группы три третичные преобразуются частотами 10560, 11880 и 13200 кГц в полосу частот 8516-12388 кГц.

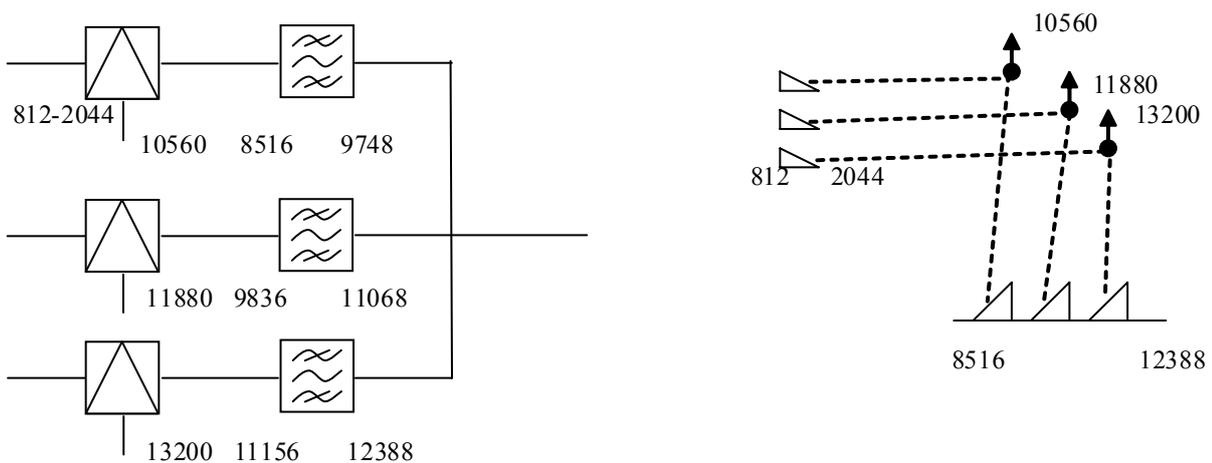


Рис. 8.11. Четвертичная стандартная группа

Таким образом, основными устройствами, используемыми при формировании канальных сигналов в СП с ЧРК, являются – преобразователи частоты, генераторное оборудование и электрические фильтры. При передаче сигналов

связи по каналам и групповым трактам необходимы также усилители, корректоры и устройства автоматической регулировки уровня.

8.2 Линейный тракт систем передачи с ЧРК

Линейный тракт содержит линейные усилители трактов передачи и приема оконечных станций, усилительные участки линии, промежуточные усилительные станции, переприемные станции по тональной и переприемные станции по высокой частоте.

Промежуточные усилительные станции предназначены для компенсации затухания усилительных участков линии. На кабельных магистралях большинство промежуточных усилительных станций – необслуживаемые (НУП) и только часть этих станций являются обслуживаемыми усилительными пунктами (ОУП). Необслуживаемые усилительные пункты питаются дистанционно от ОУП и поэтому НУП стремятся выполнить по возможности экономичными по потреблению электроэнергии.

Для поддержания диаграммы уровней в линейном тракте в заданных пределах и постоянства остаточного затухания каналов ОУП и линейные усилители тракта приема оконечных станций снабжаются устройствами АРУ по контрольным частотам (КЧ). В линейных трактах систем передачи по коаксиальным кабелям длина усилительных участков гораздо меньше, чем в системах передачи по симметричным кабелям. В связи с этим устройства АРУ по КЧ в линейных трактах коаксиальных кабелей приходится применять и на части НУП.

Станции с переприемом по ТЧ для многоканальной связи позволяют использовать необходимое число любых каналов для связи с оконечными или другими переприемными станциями. Станции с переприемом по ВЧ дают возможность выделять группы каналов в унифицированных спектрах первичных, вторичных и третичных групп и передавать транзитом в этих же спектрах остальные стандартные группы. Поэтому на таких станциях устанавливается лишь линейное оборудование и соответствующее групповое преобразовательное оборудование. В соответствии с изложенным структура линейного тракта кабельных систем передачи может быть представлена следующим образом:

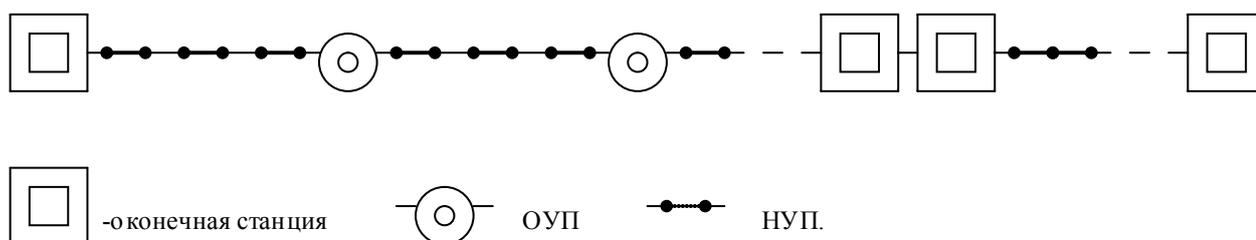


Рис.8.12. Структура линейного тракта

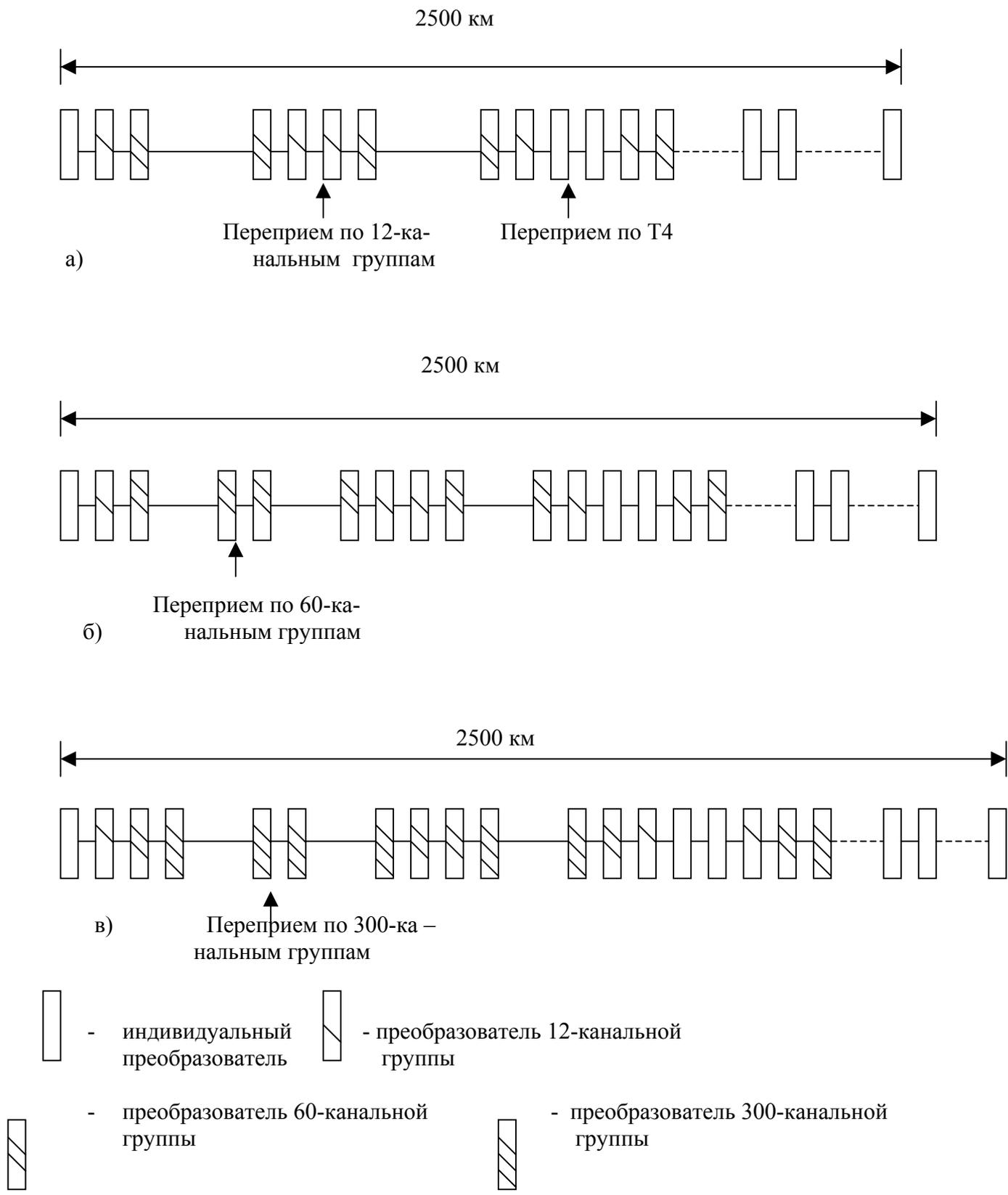


Рис.8.13. Структура гипотетической цепи

При нормировании допустимой мощности помех на выходе каналов, как и других электрических характеристик каналов, исходят из условия обеспечения высокого качества передачи при максимальной дальности связи как по государственной, так и по международным сетям связи. Поэтому нормы в отношении допустимых помех в каналах зависят от протяженности магистрали. Для учета структуры и протяженности линейного тракта и магистрали в целом в соответствии с рекомендациями МСЭ нормирование помех производится для каналов условной (гипотетической) цепи определенной протяженности и структуры. Протяженность гипотетической цепи кабельных, радиорелейных и воздушных линий из цветных металлов принята в 2500 км.

Структура этой цепи для симметричных кабельных линий, а так же радиорелейных линий с ЧРК при числе каналов от 12 до 60 предусматривает два переприема по тональной частоте и на каждом переприемном участке по ТЧ один переприем по 12-канальным группам (рис.8.13а). Гипотетическая цепь коаксиальных линий, используемых в спектре до 4 МГц, и радиорелейных линий с числом каналов более 60 также содержат три участка переприема по ТЧ, но на каждом из них предусматривается два ВЧ переприема – один по 12-канальным и второй по 60-канальным группам (рис.8.13 б). При передаче по коаксиальным кабелям в спектре до 8.5 МГц каждый переприемный участок по ТЧ содержит один переприем по 60-ти и один переприем по 300-канальной группе.

Для гипотетических цепей МСЭ рекомендованы следующие нормы средней в ЧНН псофометрической мощности помех, отнесенных к ТНОУ (точке с нулевым относительным уровнем) – для кабельных и радиорелейных линий 10 000 пВт. Этой величине мощности соответствует защищенность от помех 50 дБ и псофометрическое напряжение помехи на выходе канала 1.1 мВ в точке с относительным уровнем – 7 дБ.

Из общей допустимой мощности помех на преобразовательное оборудование оконечных станций и аппаратуру переприемных станций отводится 2500 пВт, а на помехи за счет линейного тракта 7500 пВт. В соответствии с этим можно считать, что на 1 км линейного тракта кабельных цепей приходится мощность помех в $7500/2500=3$ пВт; при протяженности линейного тракта L км допустимая псофометрическая мощность помех будет составлять $3L$ пВт.

8.3. Размещение усилителей. Накопление собственных помех

Покажем, что применение промежуточных усилителей принципиально необходимо. Пусть, например, требуется осуществить 24-канальную телефонную связь по цепи симметрического кабеля МКС – 4x4x1.2 мм протяженностью 100 км. Максимальная частота спектра в линейном тракте 108 кГц, при этом километрическое затухание кабеля $\alpha \approx 1.75$ дБ/км. При длине цепи 100 км величина $\alpha_1 = 175$ дБ. Остаточное затухание канала $\alpha_r = 7$ дБ. Если преобразователи частоты и фильтры на передающей и приемной станциях вносят затухание 7 дБ, то затухание линии вместе с преобразовательным оборудованием составит 189 дБ. Для компенсации избытка затухания в канале потребуется

усиление $S = 189 - a_r = 182$ дБ. Предположим, что это усиление обеспечивается одним усилителем на передающем конце. Измерительный уровень на выходе усилителя будет 175 дБ, что соответствует мощности $P = 10 \cdot 10^{17.5}$ мВт = 131400 млн кВт. Такой нереальный уровень мощности на выходе усилителя потребовался потому, что при распространении сигнала по линии его энергия убывает по экспоненциальному закону.

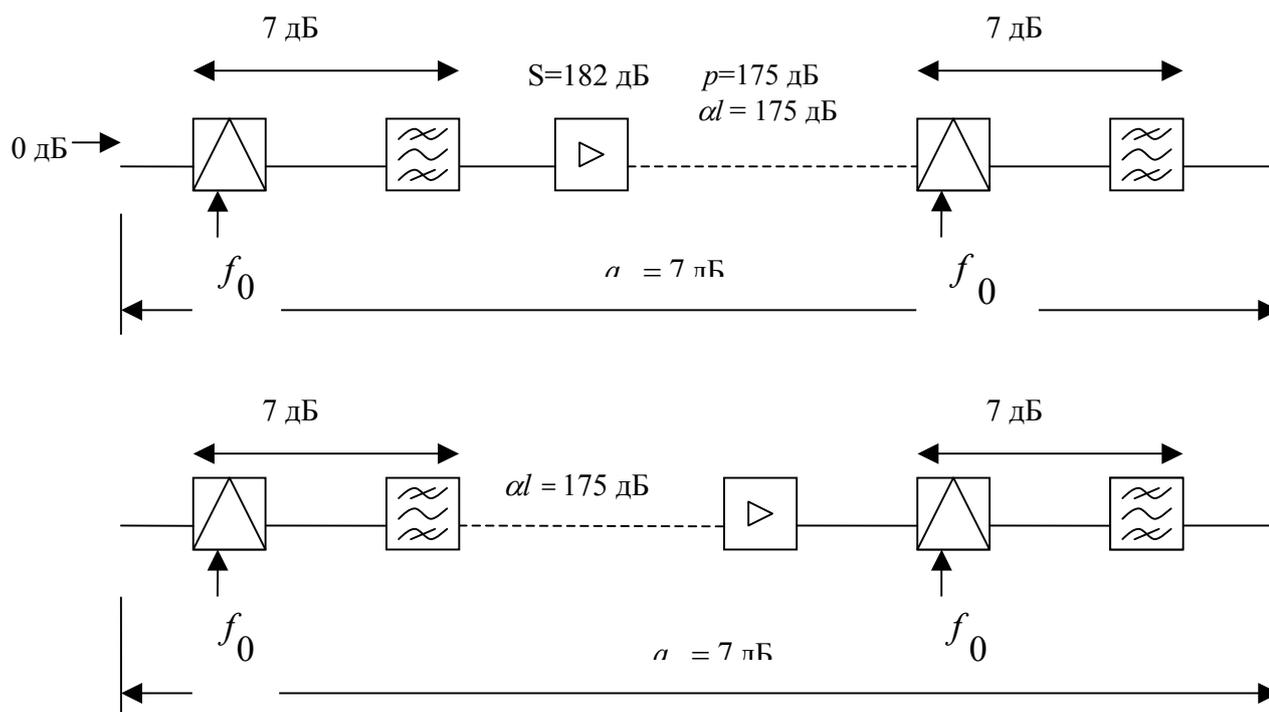


Рис.8.14. Размещение усилителей

При включении усилителя только на приемном конце уровень сигнала на его входе окажется равным -182 дБ, т.е. гораздо ниже уровня помех на входе усилителя. В этом случае сигнал будет полностью подавлен помехами.

Задача увеличения дальности связи с применением маломощных усилителей при соблюдении допустимой разности уровней сигнала и помех может быть решена на основе использования промежуточных усилителей в линейном тракте, когда мощность $S_2 = a_2$ сигнала будет восстанавливаться усилителями после каждого участка линии определенной длины. В силу экспоненциального закона убывания энергии сигнала в линии естественно ожидать, что для достижения максимальной помехозащищенности усилители в линейном тракте должны быть размещены строго равномерно, т.е. все усилительные участки должны иметь одинаковое затухание, а все усилители – одинаковое усиление. Докажем это на примере двух усилительных участков.

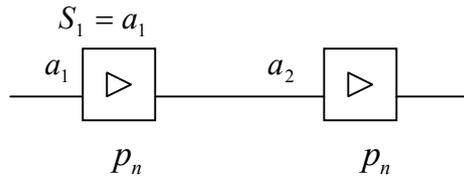


Рис.8.15. Равномерное размещение усилителей

Мощность помехи на выходе линейного тракта за счет первого усилительного участка будет равна

$$P_{II1} = 10^{0.1(p_n + S_1 - a_2 + S_2)} = 10^{0.1(p_n + a_1)} \text{ мВт}, \quad (8.1)$$

а за счет второго участка

$$P_{II2} = 10^{0.1(p_n + a_2)} \text{ мВт}. \quad (8.2)$$

Суммарная мощность помех на выходе линейного тракта

$$P_{II} = 10^{0.1 p_n} (10^{0.1 a_1} + 10^{0.1 a_2}) \text{ мВт}. \quad (8.3)$$

Предположим, что

$$a_1 = \frac{a}{2} + \Delta a \text{ и } a_2 = \frac{a}{2} - \Delta a, \quad (8.4)$$

где $a = a_1 + a_2$ - общее затухание линии. Тогда

$$P_{II} = 10^{0.05(2 p_n + a)} (10^{0.1 \Delta a} + 10^{-0.1 \Delta a}) \text{ мВт}. \quad (8.5)$$

Величина Δa , при которой обеспечивается минимальная суммарная мощность помех, определяется из условия

$$\frac{\partial P_{II}}{\partial \Delta a} = 10^{0.05(2 p_n + a) \times 0.23} (10^{0.1 \Delta a} - 10^{-0.1 \Delta a}) = 0. \quad (8.6)$$

Отсюда получаем $\Delta a = 0$, что соответствует $a_1 = a_2 = \frac{a}{2}$. Таким образом, суммарная мощность помех на выходе линейного тракта будет минимальной при равномерном размещении усилителей в линейном тракте.

При увеличении дальности связи для сохранения требуемой защищенности каналов от помех приходится уменьшать длину усилительных участков, чтобы увеличивалась защищенность от помех на каждом из них (уменьшалась мощность помех за счет каждого такого участка). Размещая равномерно промежуточные усилители при определенном их числе, можно обеспечить требуемую дальность связи при малой мощности на выходе усилителей. Так, если в рассматриваемом ранее примере выключить усилители после каждого участка линии длиной 25 км, когда затухание участка составит 44 дБ, потребуется усиление каждого промежуточного усилителя также в 44 дБ. При нулевом измерительном уровне на выходе оконечной аппаратуры измерительные уровни на выходе промежуточных усилителей будут также нулевыми, что соответствует мощности в 1 мВт.

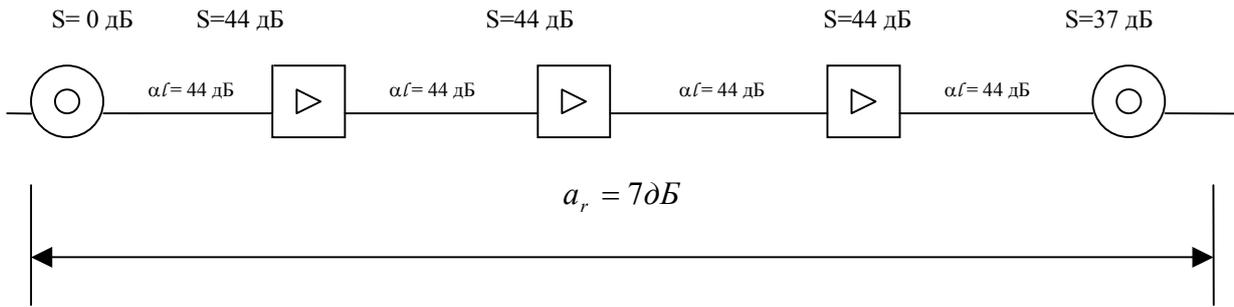


Рис.8.16. Пример равномерного размещения усилителей

Для определения допустимой длины усилительных участков по защищенности от помех нужно учесть их накопление в линейном тракте. Поскольку уровни собственных и атмосферных помех не зависят от длины усилительных участков и эти помехи имеют одинаковые статистические свойства, они накапливаются в линейном тракте по одинаковому закону. Оценим сначала, как влияет число усилительных участков и их затухание на защищенность каналов от собственных или атмосферных помех. Будем считать, что усилители линейного тракта размещены строго равномерно, т.е.

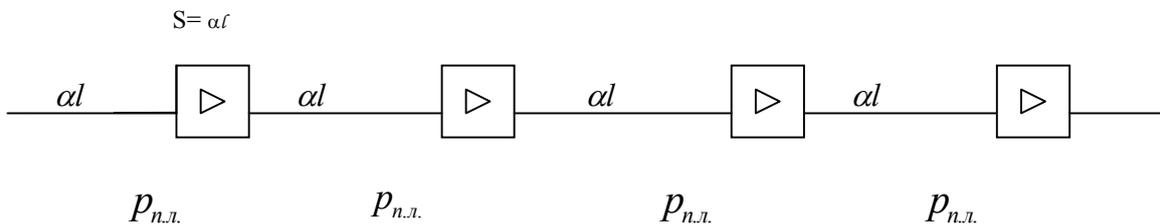


Рис.8.17. Накопление помех в линейном тракте

затухание всех усилительных участков $a_i = \alpha l_i = \alpha l$ одинаково и усиление всех усилителей $S_i = \alpha l_i = \alpha l$. Уровни помех в конце усилительных участков p_{ni} примем также одинаковыми и равными $p_{ni} = p_{n.l.}$. При этих условиях мощность собственных или атмосферных помех за счет любого усилительного участка, приведенная к выходу линейного тракта, равна

$$P_{Pi} = 10^{(0.1 p_n + 0.1 \alpha l)} \text{ мВт.} \quad (8.7)$$

Мощность помехи от n усилительных участков увеличивается в n раз и будет равна

$$P_{Pi} = n \times 10^{0.1(p_{ni} + \alpha l)} \text{ мВт} , \text{ что соответствует уровню помехи.}$$

$$p_{Pi} = 10 \lg P_{Pi} / 1 \text{ мВт} = p_{n.l.} + 10 \lg n + \alpha l . \quad (8.8)$$

Защищенность канала от помех в линейном тракте a_{Π} определяется величиной разности уровней сигнала и помехи на выходе линейного тракта, т.к. усиление каналообразующей аппаратуры не изменит этой величины. Учитывая, что $n = \frac{L}{l}$, где L – дальность связи, найдем

$$a_{\Pi} = p_c - p_{\Pi} = p_0 - p_{n.l.} - 10 \lg\left(\frac{L}{l}\right) - \alpha l. \quad (8.9)$$

Средняя длина усилительных участков кабельных магистралей определяется обычно по допустимой мощности собственных помех на выходе канала, поскольку мощность остальных составляющих помех гораздо меньше зависит от длины усилительных участков. Поэтому, задавшись допустимой мощностью собственных помех, измерительным уровнем передачи и зная затухание линии, можно, пользуясь последней формулой, определить средние длины усилительных участков. Расчетное уравнение запишется в виде

$$\alpha l - 10 \lg l = p_0 - p_{n.l.} - 10 \lg L - a_{\Pi}, \quad (8.10)$$

которое можно решить графически. Так, в 60-канальной системе передачи по симметричному кабелю К-60П измерительный уровень в верхних по линейному спектру каналах составляет

$p_0 = 0.87$ дБ, $p_{n.l.} = -130.2$ дБ, $\alpha = 2.86$ дБ/км на частоте 250 кГц. При длине магистрали в 2500 км нормируемая средняя мощность помех за счет линейного тракта в ТНОУ составляет $P_{\Pi} = 1875$ пВт, этой мощности соответствует

$p_{\Pi} = 10 \lg 1875 \cdot 10^{-12} = -56.9$ дБ и $a_{\Pi} = 56.9$ дБ. Подставляя приведенные величины в последнее уравнение, получим среднюю длину усилительных участков $l \approx 20$ км. В действительности рекомендуемые средние длины несколько меньше, т.к. учитывается затухание стационарных устройств и погрешности коррекции и регулирования в линейном тракте.

8.4. Коррекция линейных искажений в каналах и групповых трактах

Сигнал связи, который должен быть передан по каналу или групповому тракту, представляет собой одну из множества реализаций случайного процесса и может быть записан как

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(i\omega) \cdot e^{i\omega t} \partial\omega, \quad (8.11)$$

где t – время, $\omega = 2\pi f$ – текущая частота; $S_x(i\omega)$ – спектральная плотность сигнала.

Принятый сигнал

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_y(i\omega) \cdot e^{i\omega t} \partial\omega \quad (8.12)$$

обладает спектральной плотностью $S_y(i\omega)$, которую можно найти, если известен коэффициент передачи $K(i\omega) = |K(i\omega)|e^{-ib(\omega)} = K(\omega)e^{-ib(\omega)}$ данного канала или тракта $S_y(i\omega) = S_x(i\omega)K(i\omega)$.

Таким образом, принятый сигнал равен

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(i\omega) \cdot K(i\omega) \cdot e^{i\omega t} \partial\omega =$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(i\omega) K(i\omega) e^{i(\omega t - b(\omega))} \partial\omega \quad (8.13)$$

Можно считать, что сигнал принят без искажений, если его форма полностью сохранена. Очевидно, что это условие выполняется при соблюдении следующих равенств:

$$K(\omega) = K_0 = const, \quad b(\omega) = \omega t_p \pm 2k\pi, \quad k = 0, 1, 2 \dots \text{ поскольку в этом случае}$$

$$y(t) = \frac{K_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(i\omega) \cdot K(i\omega) \cdot e^{i\omega(t-t_p)} \partial\omega = K_0 x(t-t_p) \quad (8.14)$$

принятый сигнал отличается от переданного только измененной в K_0 раз амплитудой и запаздыванием на время t_p .

Вышеуказанные условия соответствуют частотнонезависимому затуханию или усилению тракта

$$a(\omega) = -20 \lg K(\omega) = a_0 = const \quad (8.15)$$

и прямолинейности его фазочастотной характеристики $b(\omega)$ или, иначе частотно – независимому групповому времени распространения

$$t_p(\omega) = (db(\omega)/d\omega) = t_p = const. \quad (8.16)$$

Спектральную плотность передаваемого сигнала в практическом случае можно считать отличный от нуля в полосе частот от ω_H до ω_B ; следовательно, если коэффициент передачи тракта $K(i\omega)$ удовлетворяет условиям безискаженной передачи в этой полосе частот, можно считать, что тракт искажений не вносит, т.е. форма передаваемого сигнала сохраняется.

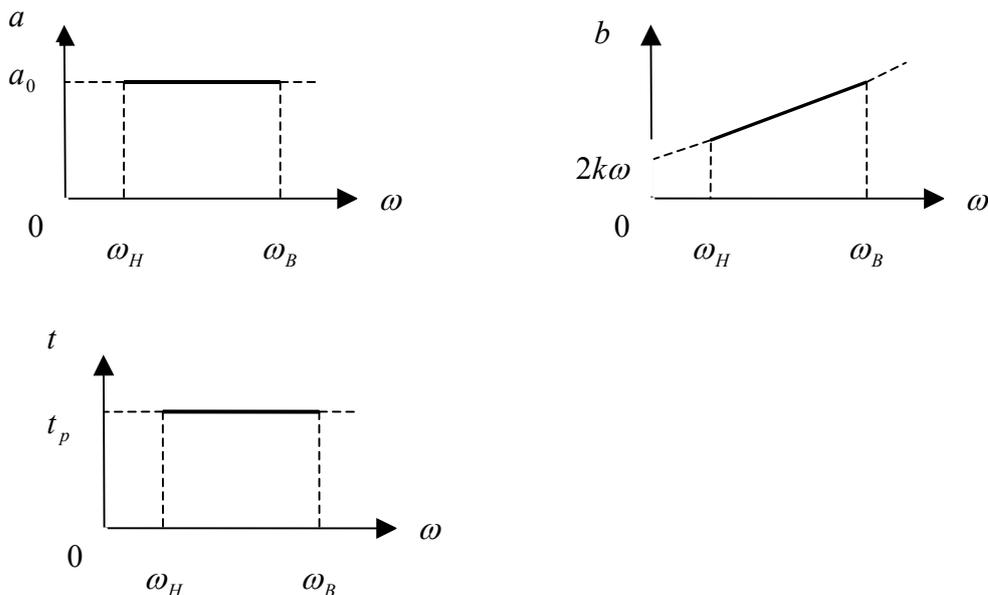


Рис.8.18. Амплитудно-частотная, фазо-частотная и характеристика группового времени замедления

Частотные характеристики реальных трактов в большей или меньшей степени отличаются от вышеприведенных, что приводит к искажениям передаваемого сигнала. Эти искажения называются линейными, поскольку они возникают в устройствах с линейной (в определенных пределах) амплитудной характеристикой, т.е. в таких, параметры которых не зависят от амплитуды сигнала. Линейные искажения подразделяются на амплитудночастотные АЧИ и фазочастотные ФЧИ. Они характеризуют отличия частотных характеристик реального тракта $a(\omega)$ и $t_p(\omega)$ от характеристик идеализированного тракта в полосе частот от ω_n до ω_b .

Линейные искажения тех или иных участков тракта могут быть устранены или, по крайней мере, уменьшены до допустимой величины с помощью корректирующих цепей. На рис 8.19 (а) показана частотная характеристика затухания $a_x(f)$ участка кабельной линии, существенно отличающаяся от идеальной. Очевидно, что амплитудно-частотные искажения этого участка линии будут устранены, если последовательно с ним включить четырехполюсник (рис.8.19 (б)), называемый амплитудным корректором АК, частотная характеристика затухания которого $a_{AK}(f)$ позволит удовлетворить условию неискаженной передачи, т.е.

$$a_x(f) + a_{AK}(f) = a_0 = \text{const.} \quad (8.17)$$

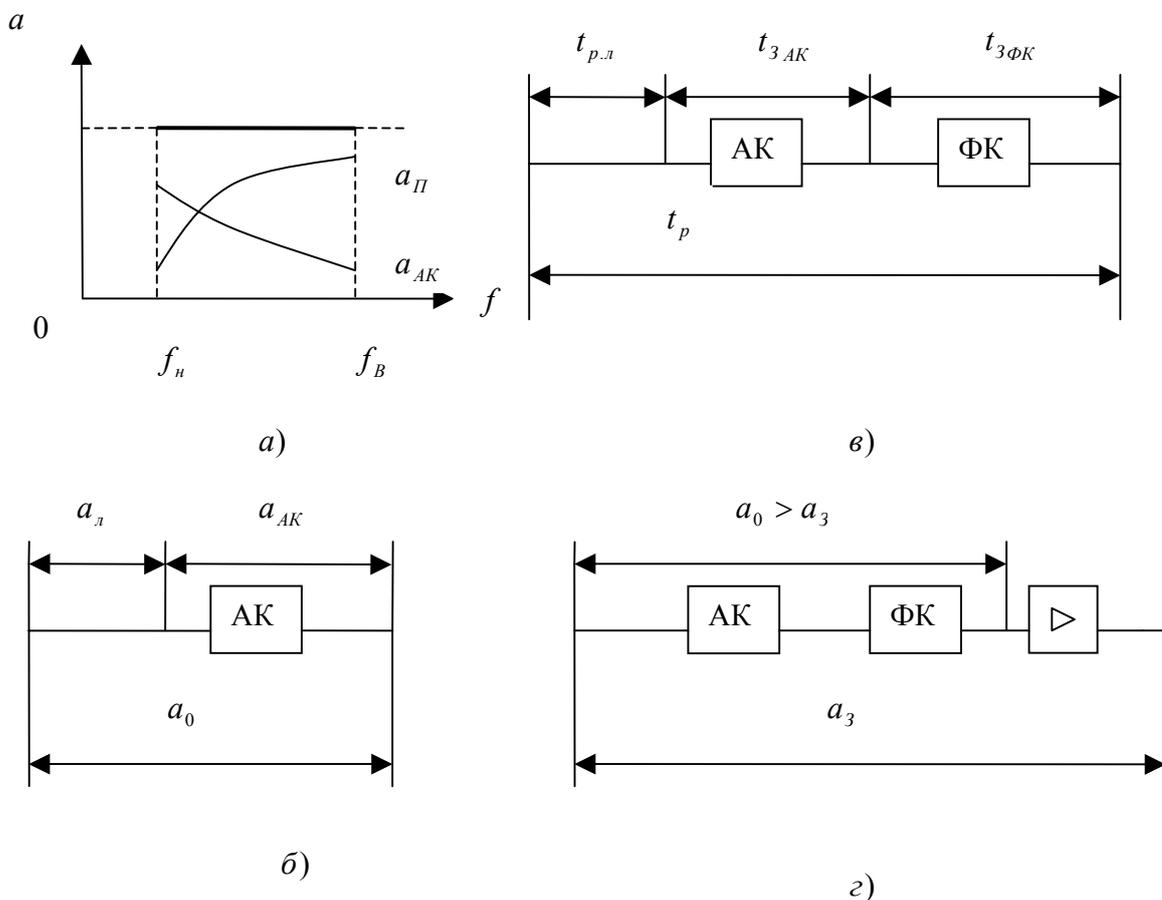


Рис.8.19. Схемы коррекции линейных искажений

ФЧИ устраняют также каскадным подключением к данному тракту четырехполюсника, затухание которого не зависит от частоты, а частотной характеристике времени запаздывания сигнала $t_{зФК}(f)$ может быть придана такая форма в заданном диапазоне частот, чтобы выполнялось соотношение, соответствующее условию неискаженной передачи

$$t_{пл}(f) + t_{зАК}(f) + t_{зФК}(f) = t_p(f) = \text{const}, \quad (8.18)$$

где $t_{зАК}(f)$ – частотная характеристика времени запаздывания сигнала в амплитудном корректоре.

При корректировании линейных искажений может оказаться, что полученная частотно-независимая величина a_0 отличается от величины аз, равной разности входного и выходного измерительных уровней данного участка тракта. Чтобы обеспечить равенство $a_0 = a_з$, одновременно с корректорами в тракт включают или пассивный удлинитель при $a_0 < a_з$ или усилитель при $a_0 > a_з$ (рис.8.19 г).

Нормальная эксплуатация трактов систем передачи возможна лишь при поддержании в определенных точках установленных значений измерительных уровней. Нарушение этого условия приводит к снижению защищенности передаваемых сигналов от собственных, когда уровень мал, или нелинейных, когда уровень велик, помех. Причем, для обеспечения достаточно высокой помехозащищенности сигналов корректирующие устройства следует размещать на всех тех участках тракта, на входах и выходах которых должны устанавливаться заданные измерительные уровни. Таким образом, характерной особенностью коррекции АЧХ в системах передачи является распределение корректирующих устройств вдоль трактов.

Амплитудно-частотные искажения кабельных линий связи и аппаратуры систем передачи изменяются с изменениями температуры окружающей среды, напряжения источников питания и некоторых других факторов. Таким образом, их можно считать переменными и их коррекция должна осуществляться с помощью переменных амплитудных корректоров, частотные характеристики которых можно изменять в процессе эксплуатации. Обычно эти изменения осуществляют с помощью систем автоматического регулирования уровней АРУ.

8.5. Автоматическое регулирование уровней

Система коррекции амплитудно-частотных искажений в групповых трактах систем передачи с ЧРК строится с применением большого числа переменных амплитудных корректоров ПАК, частотные характеристики которых необходимо изменять в процессе эксплуатации. Так, например, в линейном тракте 60-канальной системы передачи по симметричному кабелю протяженностью в 1 тыс. км, содержится более 100 ПАК, а в линейном тракте 3600-канальной системе передачи по коаксиальному кабелю такой же протяженности число ПАК может достигать тысячи. Эффективное управление таким количеством корректоров

возможно лишь методами автоматики, тем более, что большинство корректоров устанавливается на необслуживаемых усилительных пунктах.

Наиболее типичный способ автоматического управления ПАК заключается в следующем. В линейный спектр аппаратуры на передающем конце вводится контрольный сигнал определенной частоты, имеющий строго стабильный уровень $P_{кч}$. Этот сигнал, называемый обычно сигналом контрольной частоты (КЧ), вырабатывается генератором ГКЧ, подключенным к тракту через развязывающее устройство РУ, исключающее шунтирование передаваемых сигналов входным сопротивлением генератора. На выходах линейных усилителей ЛУс включают устройства, называемые приемниками контрольного канала ПКК, которые выделяют сигнал КЧ из линейного спектра и передают его на автоматические регуляторы Р (Рис.8.20). Если затухание участка тракта между ГКЧ и тем или другим ПКК равно номинальному, уровень сигнала КЧ на выходе соответствующего ПКК также равен номинальному и регулятор Р находится в покое. При изменении затухания этого участка уровень сигнала КЧ на выходе ПКК изменяется, что вызывает срабатывание регулятора, в результате чего на его выходе появляется сигнал, воздействующий на ПАК, включенный в цепь обратной связи линейного усилителя. Характер этого воздействия таков, что усиление ЛУс начинает изменяться, компенсируя изменение затухание участка тракта, вызвавшее изменение уровня сигнала КЧ на выходе ПКК.

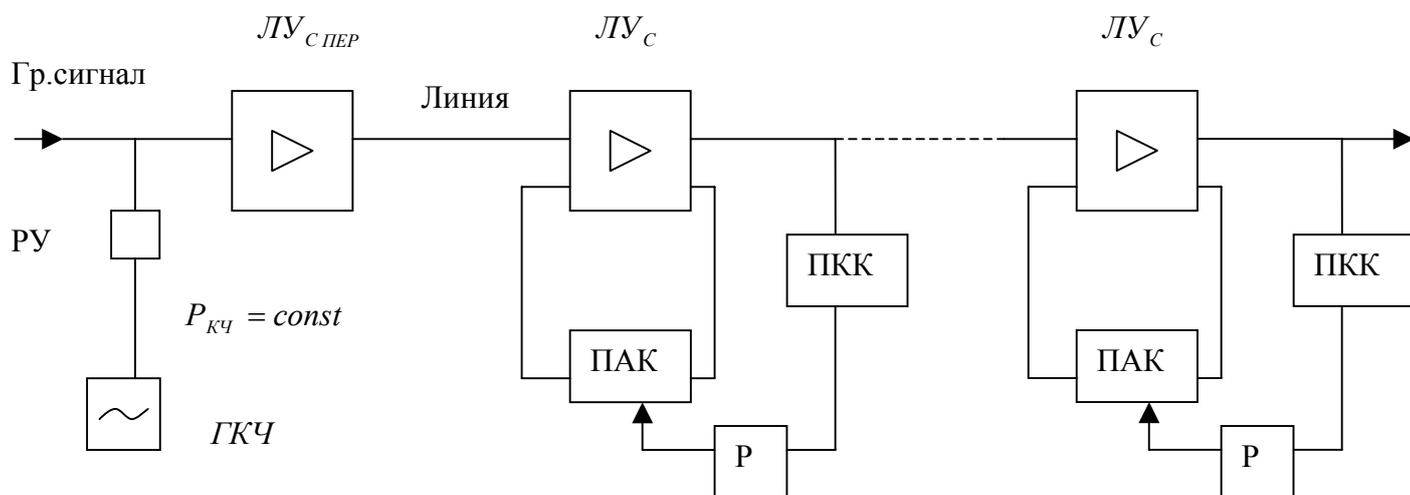


Рис.8.20. Регулирование уровней по одной КЧ

Регулирование в устройствах АРУ с помощью сигнала КЧ обеспечивает наиболее высокую стабильность уровней на частоте контрольного сигнала. Поэтому в некоторых случаях необходимая точность коррекции тракта достигается регулированием нескольких ПАК одного корректирующего устройства по контрольным сигналам, имеющих частоты, расположенные на различных участках линейного спектра. Управление несколькими ПАК осуществляется многочастотными устройствами АРУ (Рис.8.21). Для улучшения

процесса регулирования в таких устройствах между ПКК и Р часто включают блок логики БЛ.

Характерной чертой систем передачи является размещение одиночных устройств АРУ вдоль трактов через определенные расстояния. Совокупность одиночных устройств, управляемых одним и тем же воздействием, например, изменением уровня одного и того же сигнала КЧ, называется цепью одиночных устройств АРУ, или кратко цепью АРУ. Совокупность же всех одиночных устройств, находящихся в тракте, управление которыми осуществляется по одному и тому же принципу, называется системой АРУ. Система АРУ может содержать одну или несколько цепей или не содержать цепей, а состоять из независимых одиночных устройств. Некоторые групповые тракты могут снабжаться несколькими системами АРУ.

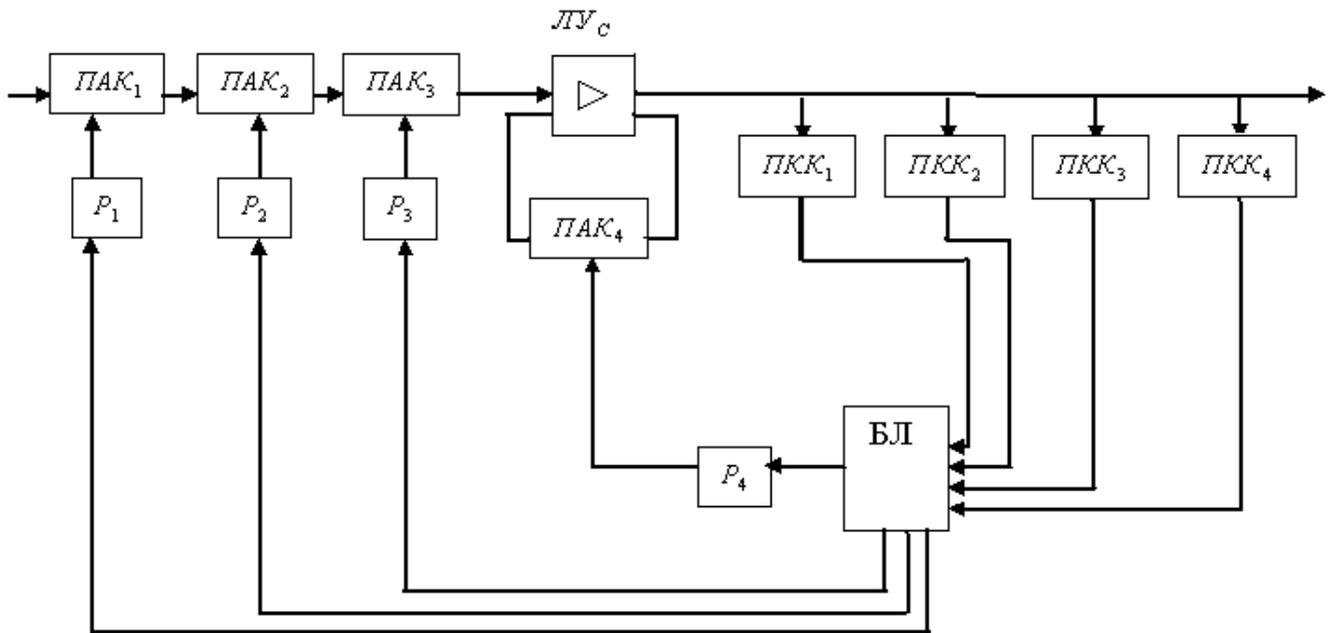


Рис.8.21. Многочастотная АРУ

8.6. Иерархическое построение МСП с ЧРК

8.6.1. Системы передачи по коаксиальным кабелям

Системы передачи по коаксиальным кабельным линиям связи позволяют организовать мощные пучки каналов связи и передачу телевизионных программ на магистральной сети. Эти системы передачи являются однополосными четырехпроводными. Исключение составляют система передачи К-120 и системы передачи по подводным кабелям, которые строятся как двухполюсные двухпроводные.

Одним из условий выбора нижней граничной частоты систем передачи по коаксиальному кабелю является обеспечение требуемой помехозащищенности. Верхняя граничная частота определяется числом каналов системы передачи. Для облегчения реализации усилителей необходимо стремиться к уменьшению относительной ширины линейного спектра. Поэтому при большом числе каналов в системе передачи нижнюю граничную частоту приходится выбирать значительно выше частоты, на которой начинает сказываться экранирующее действие внешней трубки коаксиального кабеля, обусловленное поверхностным эффектом. Тем самым увеличивается соответственно и значение верхней граничной частоты линейного спектра. Но величина верхней граничной частоты определяет технико-экономические показатели системы. Чем выше верхняя граничная частота, тем меньше допустимая длина усилительного участка. Перечисленные факторы послужили основанием для выбора спектров действующих систем передачи по коаксиальному кабелю.

Система передачи К-3600 предназначена для работы по коаксиальным парам диаметром 2.6/9.4 мм кабеля типа КМБ – 8/6 или КМБ – 4. Она позволяет получить в каждом направлении передачи 3600 каналов ТЧ или 1800 каналов ТЧ и канал передачи телевидения. Линейный спектр системы передачи К-3600 занимает полосу частот 812 – 17596 кГц. Дальность действия этой СП составляет 12500 км. Каналы этой СП могут быть использованы в качестве участка международных связей общей протяженностью до 25000 км. Для обеспечения указанной дальности связи используются обслуживаемые ОУП и необслуживаемые НУП усилительные пункты. На участке ОУП – ОУП протяженностью 186 км размещаются 61 НУП, питаемых дистанционно. Рекомендуемая длина усилительного участка – 3 ± 0.15 км. Максимальная длина переприемного участка – 1500 км.

В системе передачи К-3600 предусматривается три типа НУП – нерегулирующий, регулирующий (каждый пятый) и корректирующий (каждый двадцатый). Регулирующий НУП содержит устройства АРУ как по температуре грунта, так и по основной контрольной частоте 18432 кГц. В корректирующем НУП имеются устройства коррекции амплитудно-частотной характеристики.

Обслуживаемые усилительные пункты системы передачи К-3600 могут быть двух типов: ОУП, на которых устанавливается только линейное оборудование, и ОУП с оборудованием для ответвления телевизионных каналов.

В линейном тракте СП К-3600 используется трехчастотная АРУ, обеспечивающая требуемую стабильность уровней передачи и компенсирующая изменение затухания кабеля при изменении температуры грунта на $\pm 12.5^\circ\text{C}$ от среднего значения. Частота 18432 кГц является основной, частоты 768 и 9216 кГц

– вспомогательными. Устройства трехчастотной АРУ располагаются в каждом ОУП и оконечных пунктах.

Системы передачи с ЧРК состоят из оконечного преобразовательного оборудования и оборудования линейного тракта. Преобразовательное оборудование подразделяется на каналообразующее оборудование, состоящее из оборудования стандартных групп, и оборудование сопряжения. Как отмечалось ранее, оборудование стандартных групп является унифицированным для всех систем передачи. Для различных систем передачи необходима лишь различная комплектация этого оборудования. Оборудование сопряжения специфично для различных систем передачи, т.к. определяется принятым в системе передачи линейным спектром. Оборудование линейного тракта также различно для разных СП.

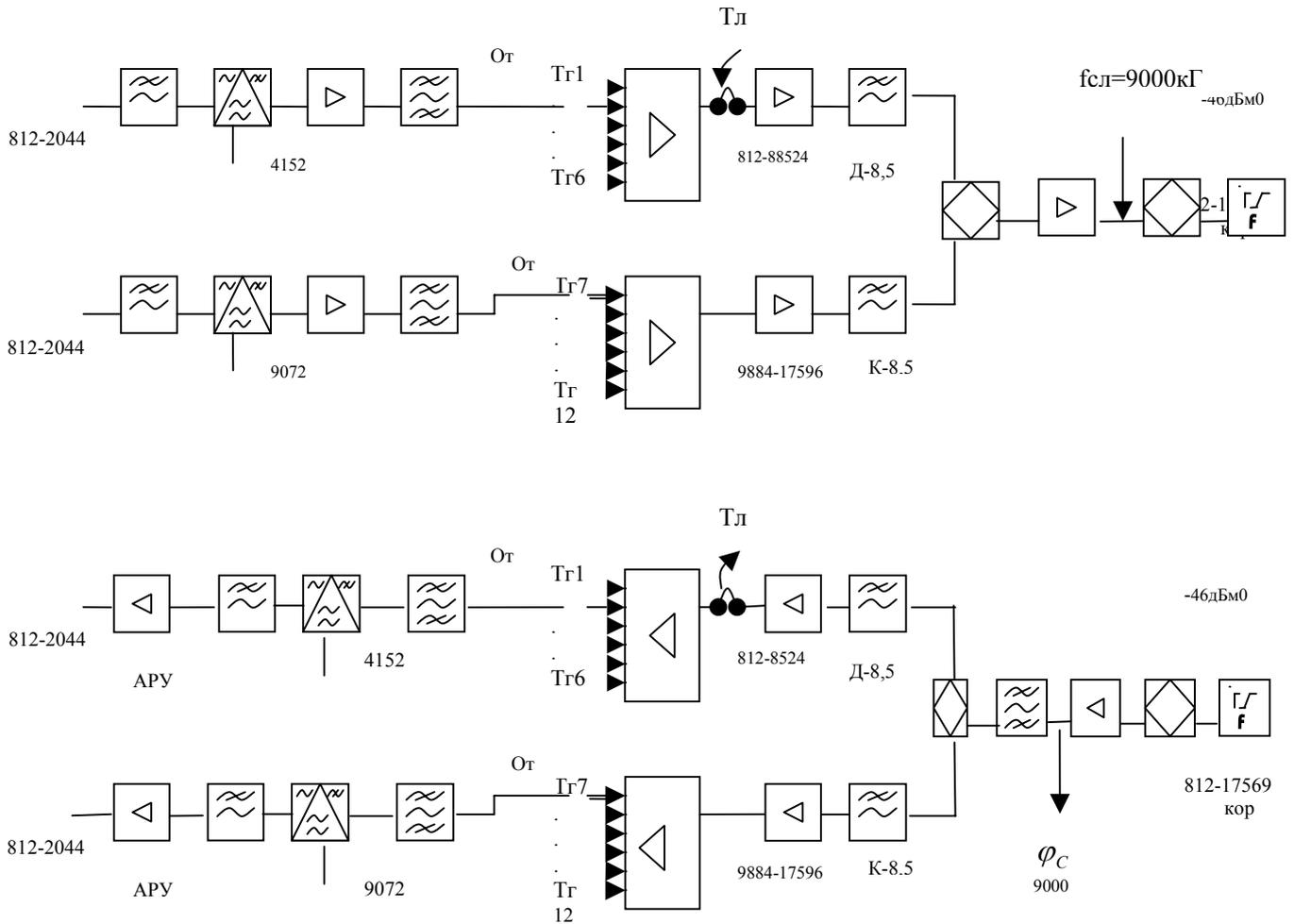


Рис.8.22. Аппаратура сопряжения К-3600

Таким образом, специфичность и особенность построения любой системы передачи с ЧРК определяется исключительно построением оборудования сопряжения и линейного тракта. Для образования линейного спектра СП К-3600 (812 – 17596 кГц) используется аппаратура сопряжения, структурная схема которой приведена на рисунке 8.22.

Оборудование сопряжения преобразует сигнал двенадцати 300-канальных групп (812 – 2044 кГц) в полосы частот двух групп по 1800 каналов 812 – 8524 кГц и 9884 – 17596 кГц. Преобразование осуществляется с помощью несущих 4152, 5448, 6744, 8040 и 9336 кГц (первая 300-канальная группа передается без преобразования) в первой 1800-канальной группе и 9071, 10368, 11664, 12960,

14256 и 18408 кГц во второй 1800-канальной группе. Объединение преобразованных спектров для получения линейного спектра частот осуществляется с помощью дифференциальных систем, чтобы изменения в режиме работы одной группы не сказывались на условиях работы другой.

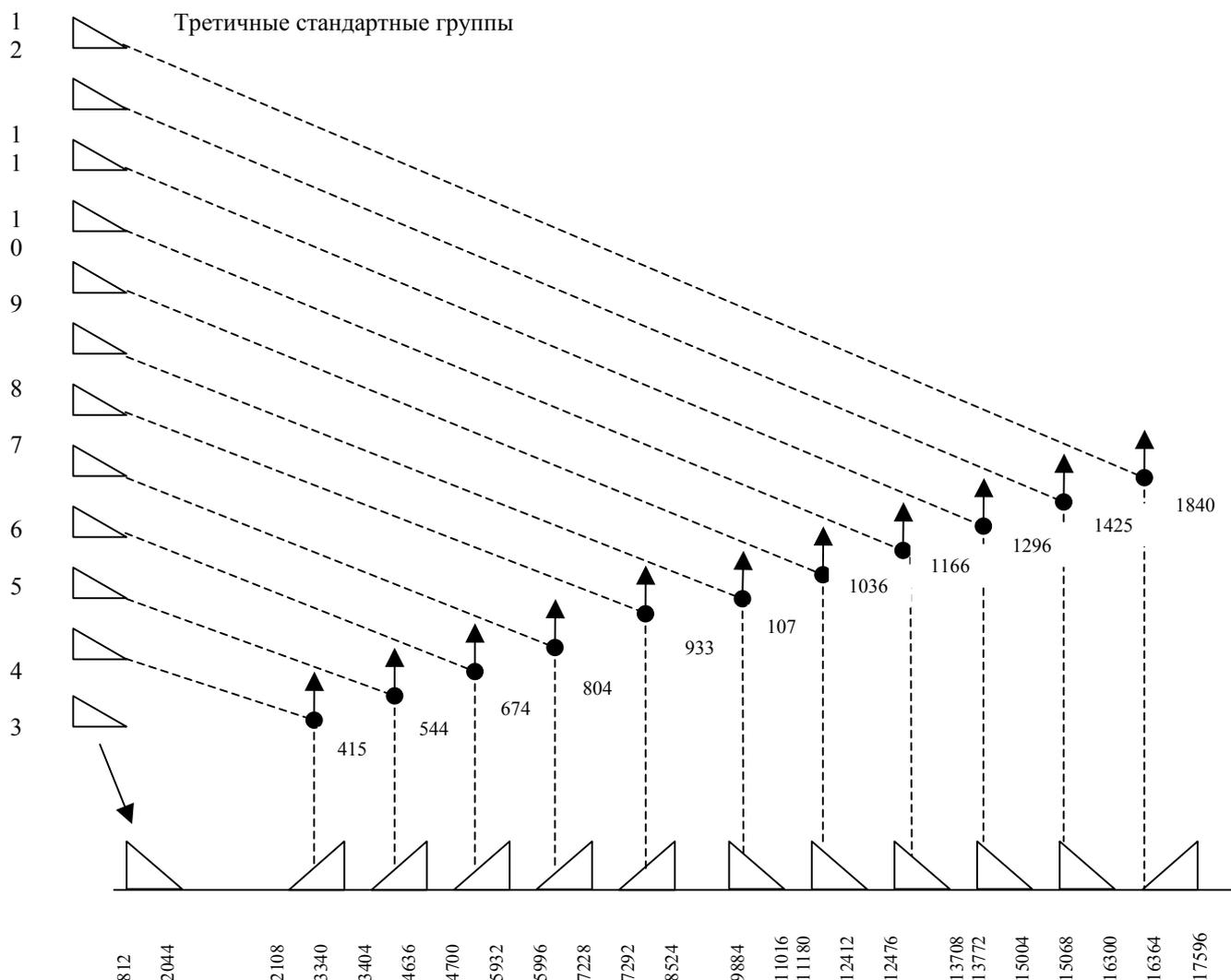


Рис.8.23. Линейный спектр СП К-3600

Вместо передачи первой 1800-канальной группы предусмотрена возможность организации каналов передачи сигналов изображенная совместно с каналами звукового вещания.

В тракт передачи аппаратуры сопряжения вводится частота слежения 9000 кГц, которая используется для стабилизации генераторного оборудования.

Оконечная аппаратура линейного тракта СП К-3600, показанная на рисунке, содержит усилительные и корректирующие устройства, а также устройства АРУ.

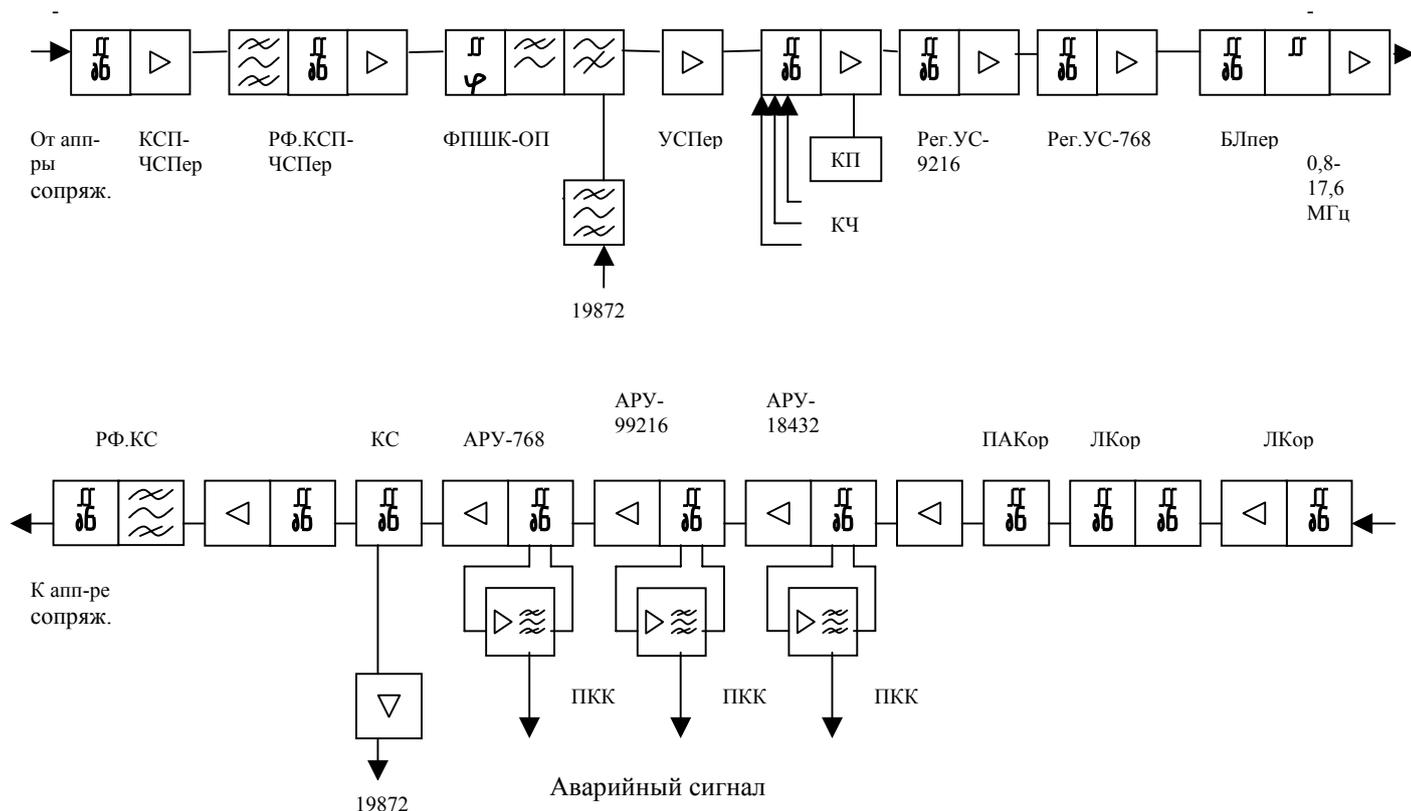


Рис.8.24. Оконечная аппаратура линейного тракта К-3600

Усилители обеспечивают требуемую диаграмму уровней, номинальное значение уровней передачи на выходе станции и компенсацию затухания кабеля предшествующего усилительного участка. Для улучшения соотношения с/ш в тракте передачи включен предискажающий контур (КП). Для компенсации АЧИ, вносимых этим контуром на передаче, в приемном тракте оборудования включен контур компенсации предискажения (КПП). Контрольные частоты 768, 9216 и 18432 кГц вводятся в тракт передачи таким образом, чтобы уровень их поддерживался постоянным. Компенсация амплитудно и фазочастотных искажений, вносимых в тракт станционным и линейным оборудованием, осуществляется станционными (КС и КСК) и линейными корректорами (Л Кор). Переменный амплитудный корректор (ПАК) устраняет остаточные АЧИ. Регулировка их производится периодически. Режекторные фильтры (РФ) вносят большое затухание для частот, совпадающих с линейными КЧ.

В СП К-3600 предусмотрена возможность дистанционного контроля усилителей НУП. Этот контроль осуществляется на частоте 19872 кГц. Поэтому в оборудовании линейного тракта предусмотрена возможность ввода этой частоты на передаче и выделения ее на приеме.

Блок фильтров подавления шумов и сигналов контроля (ФПШК – ОП) необходим для отбора и подавления шумов при непрерывном контроле уровня шумов на участке ОУП – ОП и ОП – ОП.

Система передачи К-1920 – однополосная четырехпроводная, однокабельная – предназначена для работы по коаксиальным кабелям КМБ с жилами диаметром 2.6/9.4 мм. По одной коаксиальной паре в одном направлении передачи можно получить либо 1920 каналов ТЧ, либо 300 каналов ТЧ, канал передачи сигналов изображения телевидения и канал передачи звуковых сигналов телевидения. При организации 1920 каналов ТЧ линейный спектр системы (312 – 8544 кГц) формируется из 6 стандартных третичных групп (812 – 2044 кГц) путем преобразования с помощью несущих 4152, 5448, 6744, 8040, 9336 кГц и двух стандартных вторичных групп, одна из которых передается несущей частотой 1116 кГц. (см рис.8.25).

Аппаратура для образования линейного спектра и аппаратура линейного тракта построены аналогичным образом СП К-3600.

Третичные стандартные группы

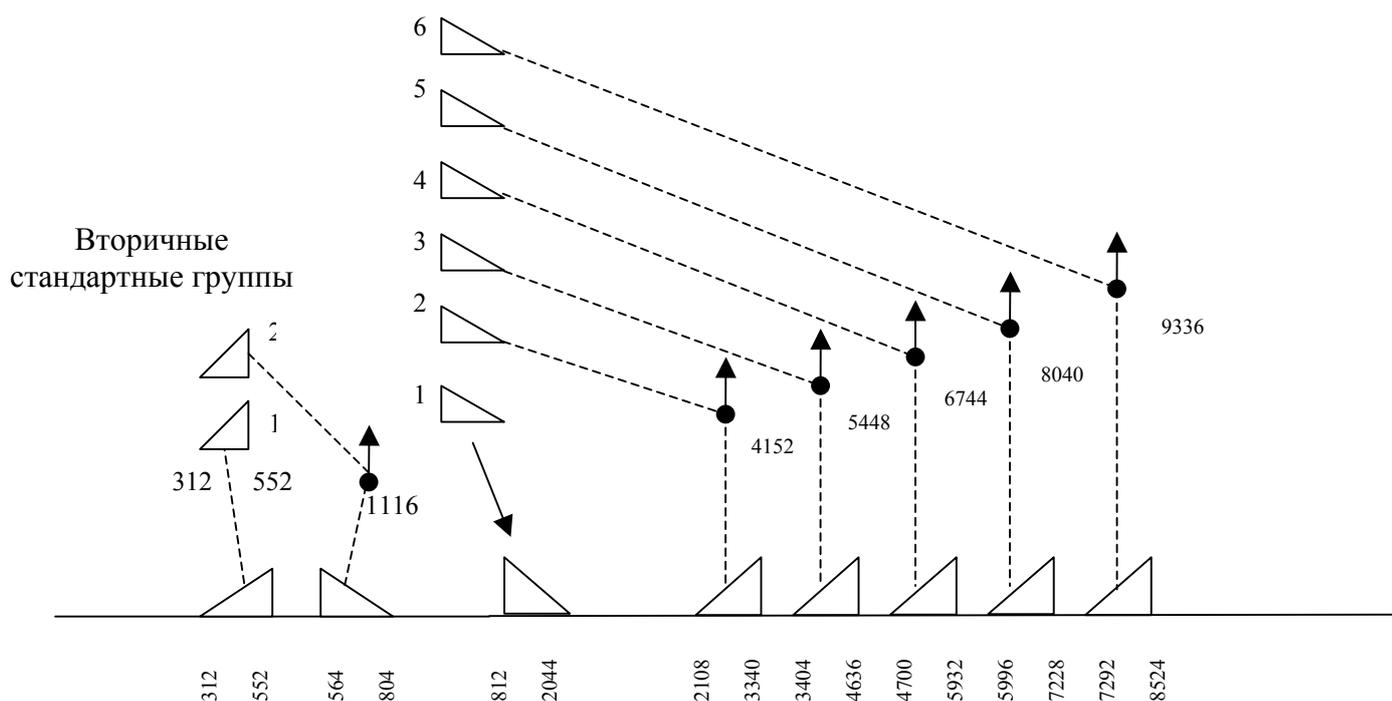


Рис.8.25. Линейный спектр К-1920

Система передачи К-300 используется на коаксиальных кабелях с малогабаритными парами диаметром 1.2/4.4 мм. Она предназначена для внутриобластных связей и для ответвления групп каналов из ОУП.

Линейный спектр СП К-300 (60 – 1300 кГц) образуется на основе пяти вторичных стандартных групп путем стандартного преобразования, которое

осуществляется в оборудовании третичной группы. Поэтому оборудование сопряжения отсутствует.

Максимальная дальность связи при использовании СП К-300 равна 12.5 тыс. км, протяженность переприемного участка по ВЧ составляет 1500 км, расстояние между ОУП не должно превышать 240 км, рекомендуемая длина усилительного участка составляет 6 км, установочные регуляторы позволяют компенсировать затухание участков длиной от 5.7 до 6.1 км. Между двумя ОУП может быть расположено до 40 НУП, которые в системе передачи К-300 предусмотрены трех типов: с грунтовой АРУ, с АРУ по основной КЧ 1364 кГц (каждый пятый НУП) и с устройствами коррекции. НУП последнего типа устанавливается в середине участка ОУП – ОУП.

Система передачи К-120, в отличие от рассмотренных, является двухпроводной двухполосной. Передача сигналов в разных направлениях производится по одной и той же коаксиальной паре в разных спектрах частот. Эта система передачи предназначена для внутриобластных сетей связи протяженностью до 1400 км по кабелю ВКПАП - 1×2.1/9.7.

Каждый ОУП системы является пунктом переприема по высокой или низкой частоте. Максимальная протяженность секции ОУП – ОУП равна 200 км. При максимальной протяженности магистраль содержит три переприемных участка по НЧ, на каждом из которых размещается до двух ОУП с переприемом по ВЧ. Протяженность усилительного участка – 10 км.

Необслуживаемые усилительные пункты предназначены для компенсации затухания кабельной линии и содержат один усилитель на оба направления передачи с устройством АРУ, направляющие и линейные фильтры, устройства дистанционного питания.

8.6.2. Системы передачи по симметричным кабелям

Для работы по симметричным кабелям используются однополосные четырехпроводные системы передачи. Особенностью конструкции симметричных кабелей являются значительные влияния между параллельными цепями. Обеспечить достаточную величину защищенности на ближнем конце между цепями одного кабеля не удастся, поэтому для передачи сигналов разных направлений используются различные кабели, т.е. магистрали на симметричных кабелях строятся двухкабельными.

Взаимные влияния между параллельными цепями одного направления внутри одного кабеля (влияния на дальний конец) ограничивают выбор верхней частоты линейного спектра частот. Известно, что эти влияния возрастают с увеличением частоты и что уменьшить их можно путем симметрирования. Как показала практика строительства магистралей, обеспечить требуемые значения защищенностей на частотах выше 260 кГц очень трудно, особенно на магистралях большой протяженности, из-за накопления переходных помех. Поэтому верхняя граничная частота линейного спектра систем передачи по симметричному кабелю принята равной 252 кГц.

Нижняя частота линейного спектра выбрана равной 12 кГц. В диапазоне частот ниже 12 кГц заметна кривизна частотной характеристики затухания симметричного кабеля, резко изменяется частотная зависимость активной составляющей волнового сопротивления кабеля и значительна по величине реактивная составляющая волнового сопротивления. Следовательно, выбор этой частоты позволил облегчить решение проблемы коррекции амплитудно – частотных искажений и согласования входных сопротивлений кабеля и аппаратуры. Кроме того, это позволило уменьшить относительную ширину линейного спектра, что упростило реализацию линейных усилителей.

В основу формирования линейных спектров систем передачи по симметричному кабелю положены спектры стандартных групп: первичных (60 – 108 кГц) и вторичных (312 – 552 кГц).

Система передачи К-60П предназначена для работы по симметричным кабелям с жилами диаметром 1.2 мм. Эта система передачи является основной для работы по междугородному симметричному кабелю и предназначена для зонной связи.

Линейный спектр СП К-60П (12 – 252 кГц) образуется на основе вторичной стандартной группы. Так как полоса частот вторичной стандартной группы и линейная полоса частот не перекрываются, то аппаратура сопряжения содержит одну ступень преобразования. Она осуществляется с помощью несущей 564 кГц. Выделение полезной боковой полосы осуществляется фильтром Д – 252.

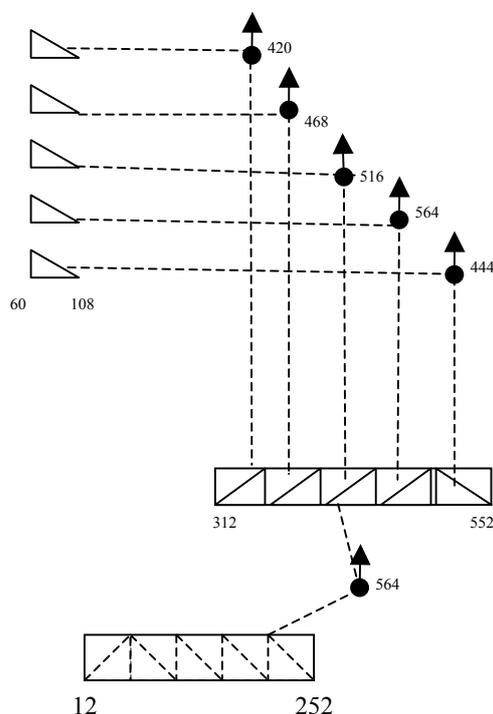


Рис.8.26. Линейный спектр СП К-60П

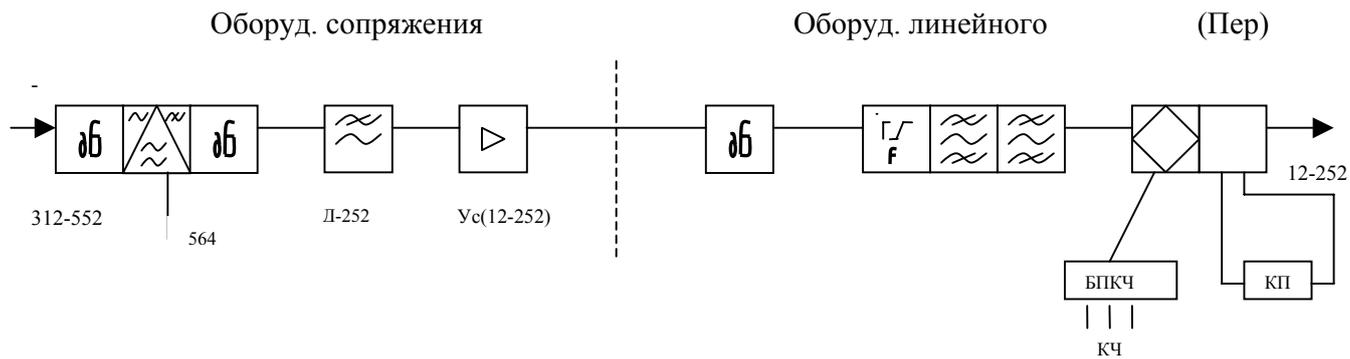
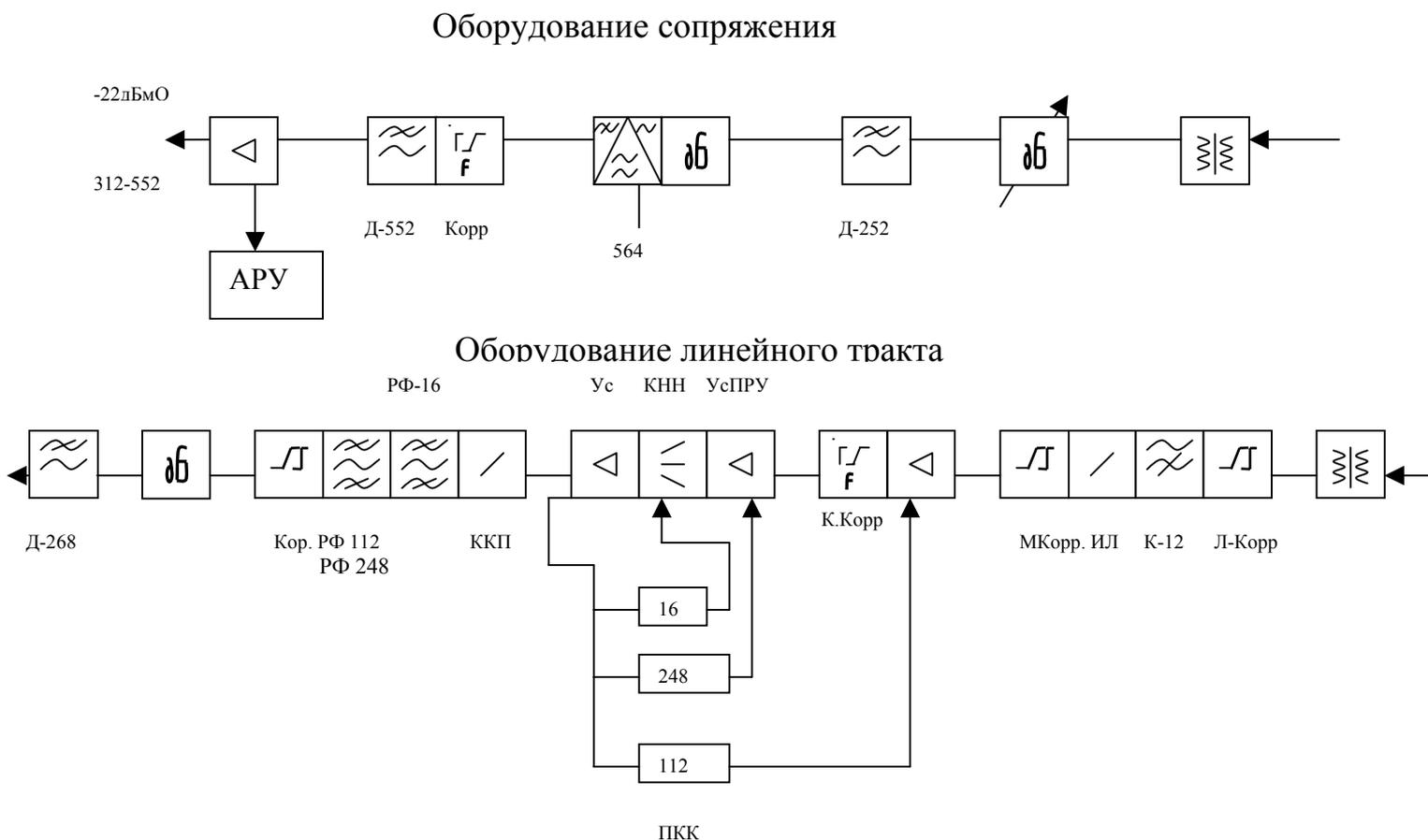


Рис.8.27. Структурная схема оборудования сопряжения и окончного оборудования линейного тракта



Усилитель Ус (12 – 252) аппаратуры сопряжения компенсирует затухание, вносимое предшествующими элементами схемы. В тракте приема оборудования сопряжения осуществляется обратное преобразование. Фильтр Д-252 подавляет линейные помехи, лежащие выше рабочего спектра частот, а фильтр Д-552 с

корректором выделяет полезную боковую полосу частот. Усилитель 312 – 552 обеспечивает номинальное значение уровня на выходе приемной части оборудования сопряжения. Кроме того, этот усилитель снабжен АРУ по контрольной частоте вторичной группы.

Оконечное оборудование линейного тракта СП К-60П содержит линейный усилитель, в цепь обратной связи которого включен контур предискажения КП, обеспечивающий работу аппаратуры с предискажением уровней. Ввод контрольных частот осуществляется через дифференциальную систему и блок переключения КЧ (БПКЧ). Последний используется для того, чтобы уровни токов КЧ оставались неизменными и равными – 22 дБ как при работе с предискажением уровней, так и с равными уровнями передачи.

Режекторные фильтры РФ подавляют остатки индивидуальных несущих частот, совпадающих с линейными контрольными частотами. Такие же фильтры в тракте приема служат для подавления токов КЧ. Линейный Лкор и магистральный Мкор корректоры компенсируют АЧИ тракта.

Косинусный корректор Ккор с усилителем предназначен для корректирования АЧИ тракта, изменяющихся во времени. В цепи ООС этого усилителя включен контур криволинейной регулировки.

Линейный усилитель приема выполнен в виде двух отдельных блоков, между которыми включен контур наклонной АРУ. В цепи ООС одного из блоков включен контур плоской АРУ, а другого – контур начального наклона КНН и набор удлинительных для плоской регулировки усиления. Контур начального наклона совместно с линейным корректором выравнивает затухание прилегающего усилительного участка. Контур компенсации предискажения ККП на приеме используется для компенсации перекоса уровней передачи.

Максимальная дальность связи равна 12500 км, протяженность переприемного участка по НЧ – до 2500 км. В СП К-60П предусмотрено два типа ОУП: с двухчастотной и трехчастотной АРУ. Расстояние между первыми – до 300 км, а между вторыми – до 600 км. Между двумя соседними ОУП может быть установлено до 12 НУП, если дистанционное питание осуществляется по схеме «провод – земля». Номинальная длина усилительного участка для кабеля МКС 4×4×1.2 равна 19,5 км. Все НУП системы имеют частотнонезависимую грунтовую АРУ.

В качестве линейных контрольных частот используются 248 кГц для плоской регулировки, 16 кГц – для наклонной и 112 кГц для криволинейной регулировки.

При необходимости выделить в ОУП группу каналов или отдельные каналы в этих пунктах используется аппаратура выделения.

9. Принципы построения СП с временным разделением каналов и импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ)

В основе связи лежит случайность. Если бы слушатель заранее точно знал, что именно должен сказать говорящий и с какой интонацией, то не существовало бы никакой необходимости слушать. Поэтому в теории связи предполагается, что передатчик связан с некоторым случайным источником, выход которого нельзя с определенностью предсказать на приемнике. В противном случае проблема связи не существует.

Кроме того, хотя это и менее очевидно, проблема связи не существует, если передаваемый сигнал не искажается помехами во время распространения или приема. В качестве примера рассмотрим передачу содержания выбранной случайным образом книги. Предположим, что алфавит (вместе со знаками препинания и цифрами) содержит 64 символа. Каждому из этих символов можно сопоставить шестизначное двоичное число, например:

$a:$	0	0	0	0	0	0	Тогда все содержание выбранной книги может быть
$b:$	0	0	0	0	0	1	записано в виде одной длинной плоскости двоичных
$c:$	0	0	0	0	1	0	символов 0,1; первые шесть символов этой
–	–	–	–	–	–	–	последовательности соответствуют первой букве текста,
–	–	–	–	–	–	–	следующие шесть символов – второй букве текста и т.д.
9:	1	1	1	1	1	1	Получившуюся последовательность можно

Заметим далее, что вся книга может быть представлена при помощи единственного импульса Найквиста. Как показано на рис.9.1, для этого требуется только сделать амплитуду импульса равной величине получившегося двоичного числа.

Таким образом, если бы можно было точно определить на приемнике передаваемую амплитуду, то не только одну книгу, но и содержание библиотеки книг можно было бы передать посредством единственного значения амплитуды. Однако, этот способ, очевидно абсурден. Малые искажения, вызываемые шумами, всегда сделают невозможной либо передачу, либо прием с такой невероятной точностью.

Теория связи, основы которой заложены трудами Винера, Котельникова и Шеннона, устанавливает некоторые фундаментальные и в принципе предельные ограничения на все возможные системы модуляции и приема сигналов. До этого казавшееся интуитивно ясным, но на самом деле ошибочное представление о том, что шум накладывает неизбежные ограничения на точность связи, было общепринятым. На самом деле влияние шума при передаче по каналу с ограниченной ширины полосы частот и ограниченной величиной сигнала может быть полностью описано одним параметром C , называемым пропускной способностью канала. Значение этого понятия определяется следующим

результатом: если число M сообщений как функция от длительности сигнала T возрастает достаточно медленно, так что $\underline{M} < 2^{CT}$ (9.1), то выбирая T достаточно большим, можно в принципе получить сколь угодно высокую точность передачи; другими словами этого можно добиться, используя достаточно длительные сигналы. И обратно, надежная связь невозможна независимо от того, какие способы преобразования сигналов используются в передатчике и приемнике, если $\underline{M} > 2^{CT}$ (9.2).

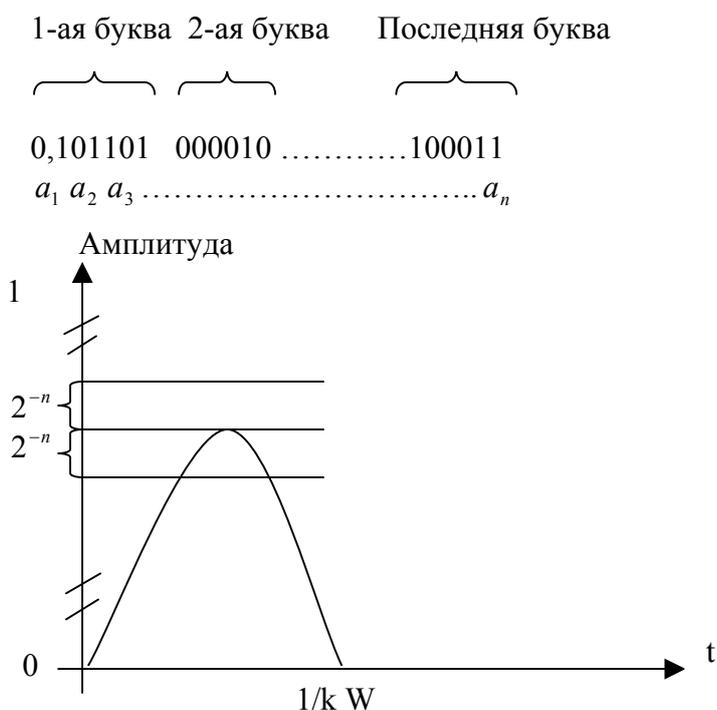


Рис.9.1. Представление текста книги одним импульсом

Второй принципиальный результат состоит в обнаружении того, что связь по существу является дискретным процессом. При этом имеется в виду, что на приемнике в течение конечного интервала времени можно различить только конечное число сообщений. Тот факт, что процесс связи является дискретным, станет понятнее, если вспомнить, с каким успехом писатели используют конечный алфавит для передачи не только фактов, но и эмоций.

В цифровых системах передачи ЦСП передача непрерывной случайной величины с помощью аналогового сигнала в результате дискретизации во времени и квантования по амплитуде заменяется на передачу цифровой последовательности двоичных символов. При этом выбором частоты дискретизации и числа уровней квантования (шага квантования) достигается передача исходного непрерывного сигнала с заведомо малым уровнем искажений.

9.1. Основные особенности ЦСП

Широкое применение ЦСП объясняется существенными достоинствами этих систем по сравнению с аналоговыми системами передачи с ЧРК.

1) Высокая помехоустойчивость. Представление информации в цифровой форме – в виде последовательности импульсов с малым числом разрешенных значений и с детерминированной частотой следования позволяет осуществлять регенерацию (полное восстановление) этих импульсов при передаче их по линии связи, что резко снижает влияние помех и искажений на качество передачи информации. Поэтому с помощью ЦСП организуется многоканальная передача по городским многопарным кабелям с бумажной изоляцией, тогда как с помощью аналоговых систем передача по таким кабелям невозможна из-за высокого уровня переходных помех. Цифровые методы передачи предпочтительны и при передаче сигналов по волоконно-оптическим трактам, отличающимся большой нелинейностью электронно-оптических и оптоэлектронных преобразователей.

2) Независимость качества передачи от длины линии связи. Благодаря полному восстановлению передаваемых цифровых сигналов искажения в пределах регенерационного участка ничтожны. Поэтому в ЦСП качество передачи практически не зависит от длины линии связи. При этом длина регенерационного участка и оборудования регенератора при передаче информации на большие расстояния остаются такими же, как и при передаче на малые расстояния. Так, при увеличении длины линии в 100 раз длина регенерационного участка уменьшается лишь на 2 – 3 % при сохранении неизменной верности передачи информации. Транзиты сигналов, осуществляемые в цифровой форме, также практически не ухудшают качество передачи.

3) Стабильность параметров каналов. Стабильность параметров каналов (остаточного затухания, частотной характеристики, величины нелинейных искажений) определяются в основном устройствами обработки сигналов в аналоговой форме. Поскольку такие устройства составляют незначительную часть аппаратного комплекса ЦСП, стабильность параметров каналов в таких системах значительно выше, чем в аналоговых. Этому способствует также отсутствие в цифровых системах с ВРК влияния загрузки системы передачи в целом на параметры отдельного канала. Кроме того, при временном разделении каналов обеспечивается идентичность параметров всех каналов, что также способствует стабильности характеристик каналов в коммутируемой сети связи, тогда как в системах с частотным разделением параметра каналов зависят от их размещения в линейном спектре.

4) Эффективность использования пропускной способности при передаче дискретных сигналов. В ЦСП дискретные сигналы могут вводиться непосредственно в групповой тракт этих систем. При этом скорость передачи дискретных сигналов приближается к скорости передачи группового сигнала. Так дискретные сигналы, вводимые в групповой тракт вместо одного канала ТЧ, могут передаваться со скоростью 50 – 60 кбит/с. При передаче же дискретных сигналов по каналу ТЧ скорость передачи обычно не превышает 10 кбит/с. Кроме того,

передача дискретных сигналов путем ввода их непосредственно в групповой тракт цифровых систем позволяет значительно снизить требования к линейности амплитудной характеристики канала ТЧ, которые являются весьма жесткими при передаче методами тонального телеграфирования.

5) Возможности построения цифровой сети связи. Внедрение ЦСП наряду с цифровым коммутационным оборудованием позволяет реализовать весь аппаратный комплекс сети связи на чисто цифровой основе. В такой сети передача, транзит и коммутация сигналов осуществляются в цифровой форме. При этом параметры каналов практически не зависят от структуры сети связи, что обеспечивает возможность построения гибкой разветвленной цифровой сети, обладающей высокой надежностью. Кроме того, передача и коммутация сигналов в цифровой форме позволяет реализовать весь аппаратный комплекс на основе комплектующих высокой степени интеграции. Использование в цифровой сети однотипного оборудования, совмещающего операции каналообразования и коммутации, позволяет повысить экономическую эффективность сети связи.

6) Высокие технико-экономические показатели ЦСП. Большой удельный вес цифрового оборудования в аппаратном комплексе ЦСП определяет особенности изготовления, настройки и эксплуатации таких систем. Имеются широкие возможности для организации автоматизированного кооперационного контроля при производстве аппаратуры ЦСП. Высокая стабильность параметров каналов ЦСП устраняет необходимость регулировки узлов аппаратуры, в частности узлов линейного тракта, в процессе эксплуатации. Высокая степень унификации узлов, в том числе таких массовых, как узлы индивидуального оборудования и регенератора, также упрощает эксплуатацию систем и повышает надежность оборудования. Широкое применение интегральных схем высокой степени интеграции резко уменьшает трудоемкость изготовления оборудования ЦСП и позволяет значительно снизить и габариты этого оборудования.

9.2 Оборудование цифровых систем передачи

Оборудование ЦСП состоит из оборудования формирования (приема) цифрового сигнала осуществляется в оборудовании аналого-цифрового преобразования и в оборудовании временного группообразования. Структурная схема соединения основных видов оборудования ЦСП показана на рис.9.2.

Аналоговые абонентские сигналы преобразуется в аналого-цифровом оборудовании АЦО, на выходе которого формируется многоканальный поток Е1 на основе временного разделения каналов. Цифровые абонентские сигналы вводятся непосредственно в многоканальный цифровой поток. Этот поток поступает в коммутационное оборудование КО, образуя временное коммутационное поле. В КО цифровые сигналы отдельных каналов коммутируются в соответствии с сигналами управления, в результате чего формируются исходящие многоканальные цифровые потоки соответствующего направления.

В передающей части окончного оборудования линейного цифрового тракта ОЛТ преобразуется структура исходящих потоков, сформированных в КО. Цель такого преобразования – уменьшение искажений (согласования) цифрового потока при передаче его по линейному тракту, оборудованию промежуточными регенераторами Р.

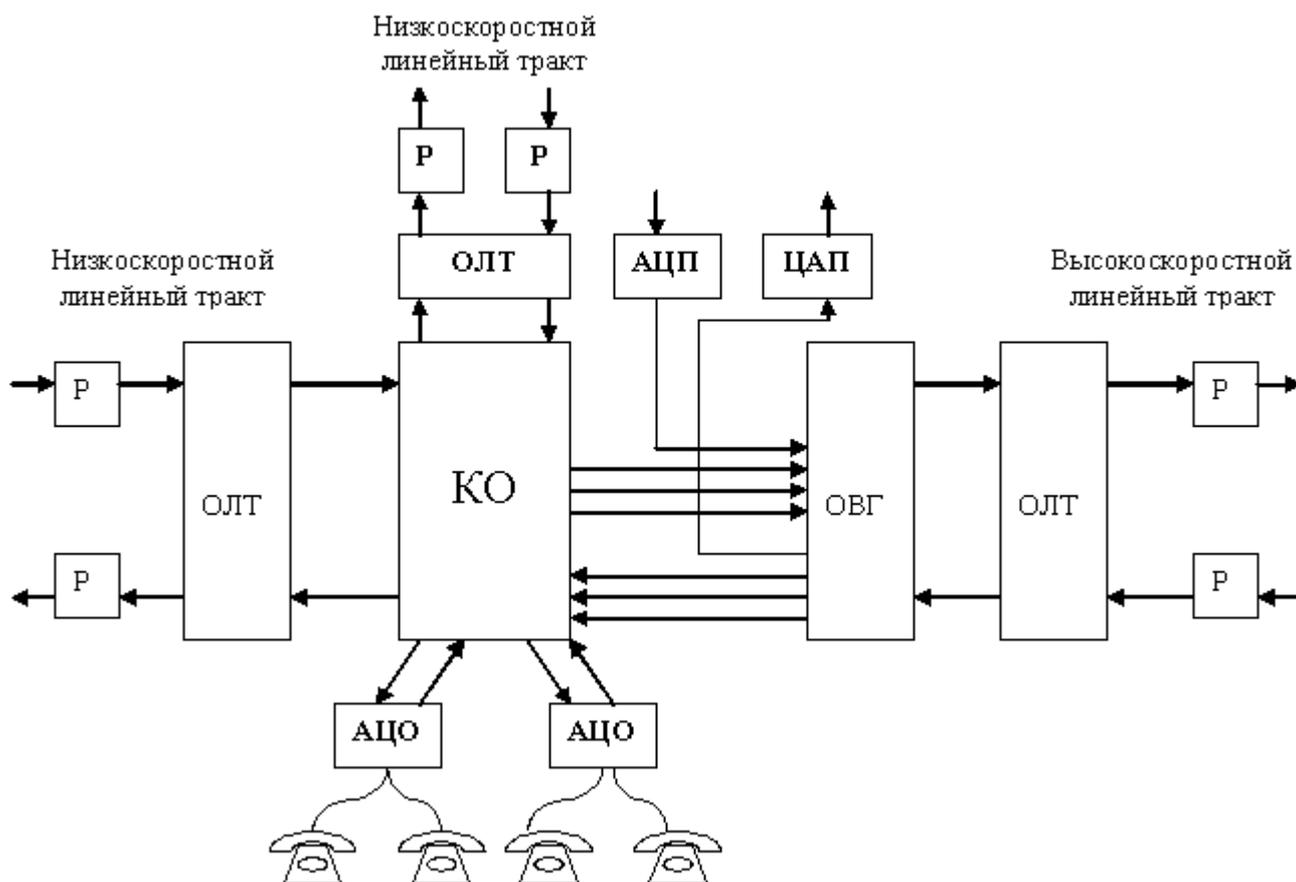


Рис.9.2. Структурная схема ЦСП

В приемной части ОЛТ осуществляется обратное преобразование структуры входящего цифрового потока, после чего он поступает в коммутационное оборудование. В КО сигналы коммутируются в направлениях абонентов данного узла сети связи, других узлов этой же зоны и других зон сети. Сигналы, передаваемые абонентом данного узла сети, группируются в исходящие цифровые потоки, поступающие в приемную часть АЦО, где осуществляется цифроаналоговое преобразование и разделение аналоговых абонентских сигналов, а так же выделение цифровых сигналов, передаваемых к абонентам.

Соединение с абонентами других узлов сети в пределах этой же зоны осуществляется через исходящие соединительные линии, организованные с помощью низкоскоростных цифровых трактов. Для связи с абонентами, расположенными в других зонах, исходящие многоканальные цифровые потоки объединяются в высокоскоростные потоки в оборудовании временного группообразования ОВГ. Это же оборудование осуществляет ввод

широкополосных сигналов, например, телевизионных, преобразованных в цифровую форму с помощью соответствующих АЦП, а также высокоскоростной дискретной информации. Сигналы с выхода ОВГ через ОЛТ поступают в высокоскоростной линейный тракт. В приемной части ОВГ осуществляется разделение высокоскоростного цифрового потока на компонентные потоки, поступающие в КО, а широкополосные цифровые сигналы поступают в цифровоаналоговый преобразователь ЦАП. Данная структурная схема является примерной и не исчерпывает возможных модификаций соединения оборудования ЦСП.

Рассмотрим более подробно принципы построения отдельных видов оборудования ЦСП.

9.3 Оборудование аналого-цифрового преобразования

Обобщенная структурная схема ЦСП с преобразованием аналоговых сигналов приведена на рис.9.3.

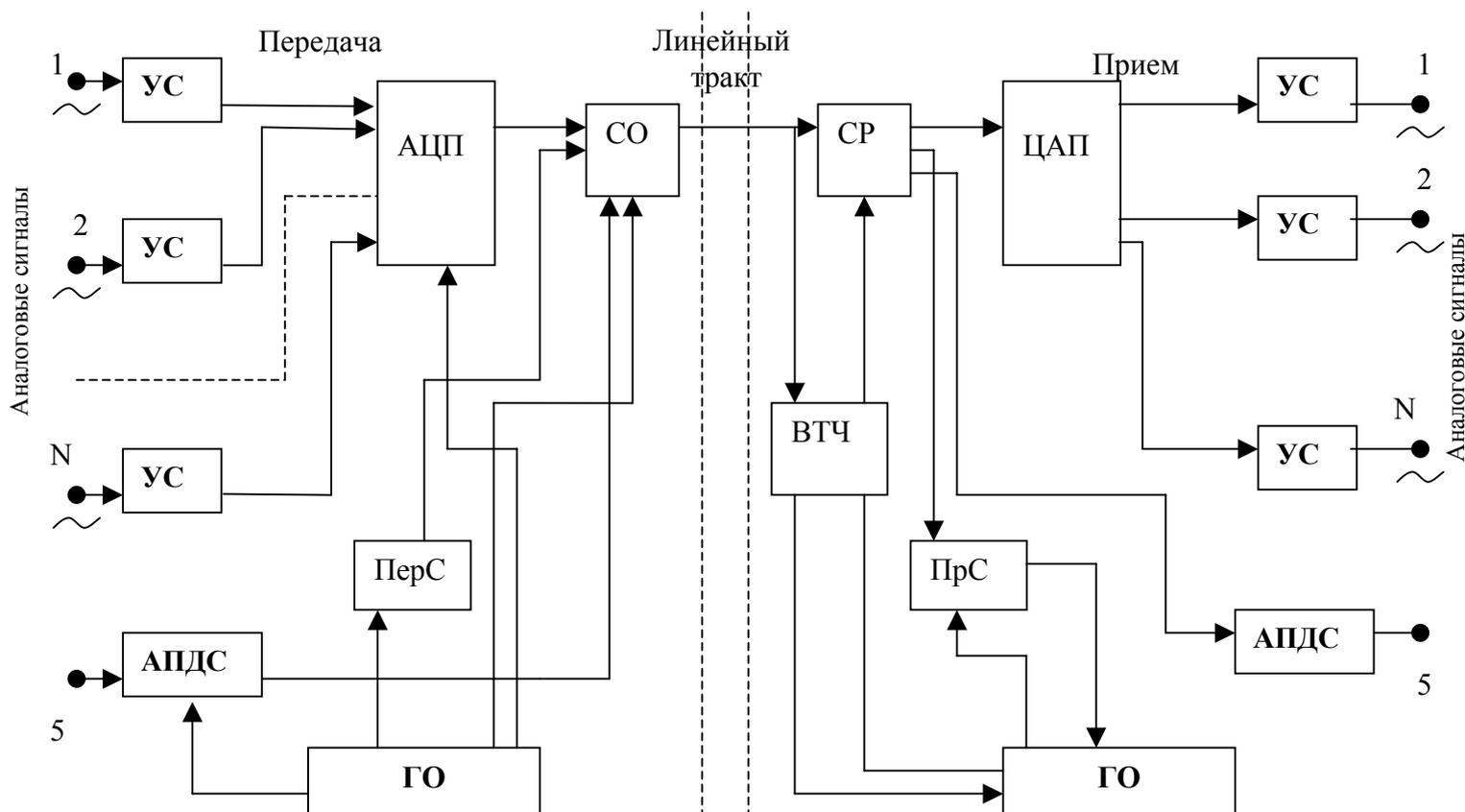


Рис.9.3. Схема ЦСП с преобразованием аналоговых сигналов

Аналоговые сигналы поступают на вход аналого-цифрового преобразователя через соответствующие устройства согласования УС. В каждом таком устройстве сигнал фильтруется и усиливается, а в ряде случаев преобразуется его спектр. В АЦП аналоговые сигналы преобразуются в цифровую

форму с использованием одного из видов цифровой модуляции: импульсно-кодовой ИКМ, дельта ДМ, дифференциальной импульсно-кодовой ДИКМ и др. При ИКМ аналоговый сигнал подвергается в АЦП временной дискретизации, затем отсчеты сигнала квантуются и кодируются. АЦП может быть как групповым, так и индивидуальным устройством. При ДМ и ДИКМ квантуется и кодируется разность между двумя соседними отсчетами, а АЦП является индивидуальным устройством.

Последовательность кодовых символов с выхода АЦП поступает на схему объединения СО сигналов, поступающих от АЦП или от нескольких АЦП, управляемых общим генераторным оборудованием ГО, аппаратуры передачи дискретных сигналов АПДС и передатчика синхросигнала ПерС. Объединение цифровых сигналов производится с определенной периодичностью, фиксируемой сигналом цикловой синхронизации. Период следования синхросигнала равен длительности цикла передачи. Как правило, длительность цикла передачи принимается равной периоду дискретизации сигналов в АЦП. При этом в каждом цикле содержатся кодовые группы или символы, соответствующие каждому из передаваемых сигналов. На рис.9.4 в качестве примера показан цикл передачи сигналов в 30-канальной системе с ИКМ.

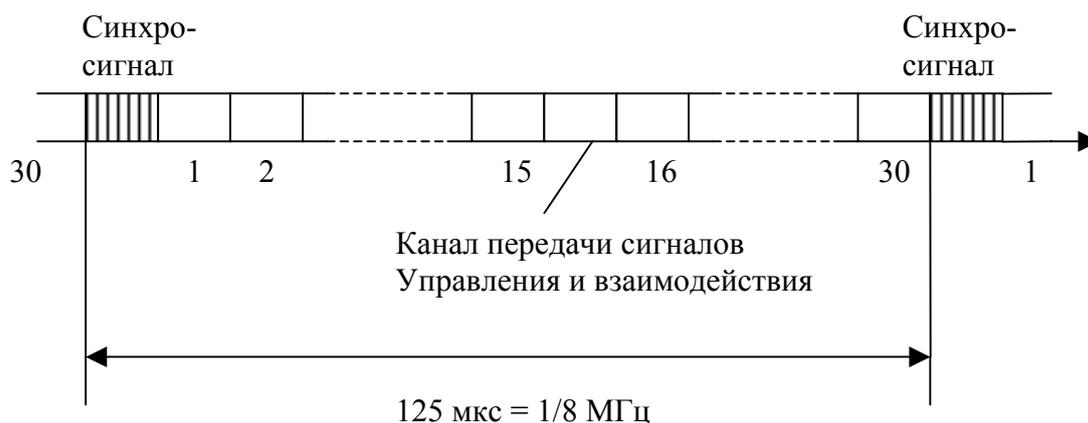


Рис.9.4. Структура цикла системы ИКМ-30

С выхода схемы объединения сигнал подается на вход оборудования линейного тракта, проходит его и поступает в приемную часть АЦО. В приемной части генераторное оборудование синхронизируется сигналом тактовой частоты, выделенным из линейного цифрового сигнала выделителем тактовой частоты ВТЧ. Фазирование генераторного оборудования осуществляется последовательностью импульсов, формируемых в приемнике синхросигнала ПрС. Из группового цифрового сигнала под управлением генераторного оборудования в схеме разделения СР выделяются последовательности кодовых групп (символов), которые подаются на цифроаналоговый преобразователь, и символов, поступающих на вход приемной части АПДС. После цифроаналогового преобразования сигналы поступают на устройства согласования и далее на выход ЦСП.

9.4 Оборудование временного группообразования

На рис.9.5 приведена структурная схема ЦСП с временным группообразованием. В такой ЦСП групповой сигнал формируется путем объединения цифровых потоков, образованных системами с аналого-цифровым преобразованием сигналов, либо системами с временным группообразованием более низкого порядка, скорость группового потока которых равна скорости входного потока данной системы. Системы передачи более низкого порядка могут работать как независимо от оборудования объединения и разделения цифровых потоков, так и синхронизироваться общим задающим генератором. В первом случае блоки цифрового сопряжения передающего оборудования БЦСпер преобразуют тактовые частоты входных цифровых потоков, обеспечивая кратность этих частот тактовой частоте группового сигнала на выходе оборудования объединения, и устанавливают необходимые временные соотношения между этими потоками. При синхронном объединении цифровых потоков в БЦСпер лишь устанавливаются требуемые временные соотношения между входными потоками, а тактовые частоты потоков не изменяются.

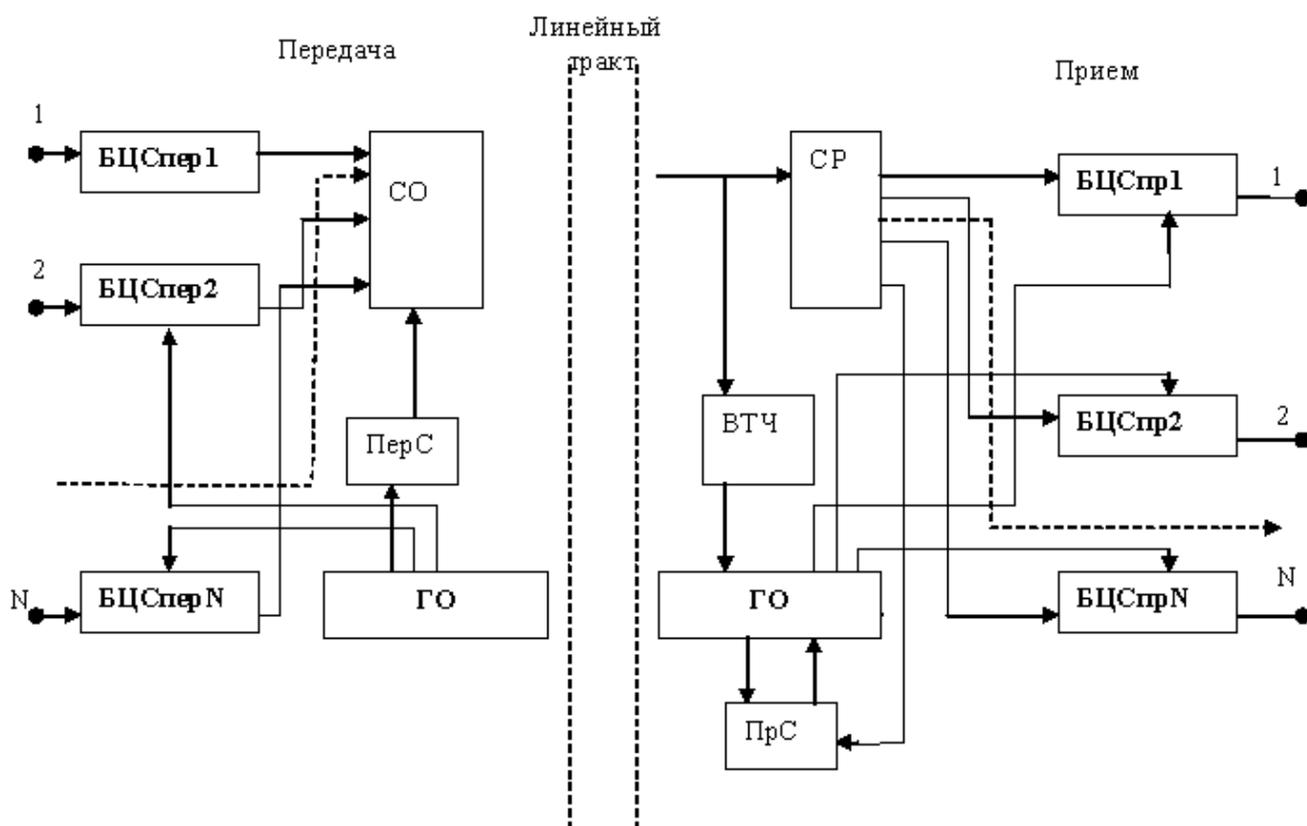


Рис.9.5. Структурная схема ЦСП с временным группообразованием

Сигналы с выходов БЦСпер совместно с сигналами цикловой синхронизации поступают на вход схемы объединения. Временной сдвиг между импульсными последовательностями на выходах соседних БЦСпер соответствует интервалу, отводимому для сигнала одного потока в цикле передачи. Возможно как посимвольное, так и поканальное объединение цифровых потоков. При

поканальном объединении (см рис.9.6) величина сдвига равна длительности кодовой группы.

С выхода схемы объединения групповой сигнал поступает в линейный тракт. В приемном оборудовании производится разделение группового сигнала и восстановления в каждом БЦС исходной скорости переданных цифровых потоков.

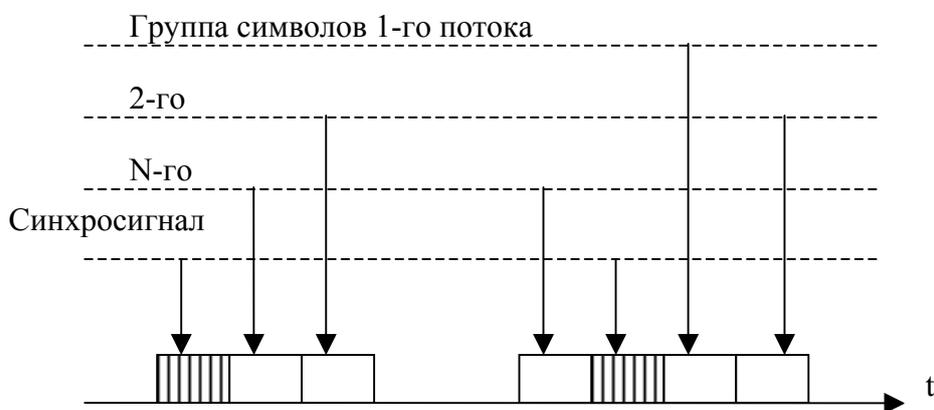


Рис.9.6. Поканальное объединение

9.5 Оборудование линейного тракта

Передача цифровых потоков может производиться по линейным трактам различных типов – кабельным, радиорелейным, спутниковым и волоконно-оптическим. Несмотря на наличие специфических особенностей отдельных типов линейных трактов, их построение осуществляется по единой структурной схеме (рис.9.7).

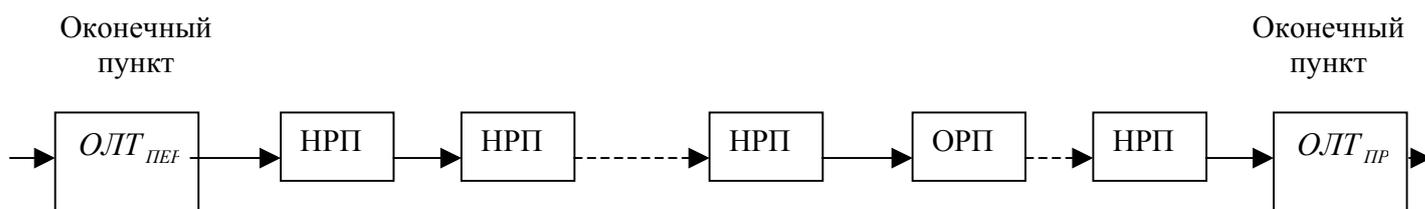


Рис.9.7. Оборудование линейного тракта

Для уменьшения искажений, возникающих при передаче цифрового потока по линии, в передающей части окончного оборудовании линейного тракта с помощью преобразователя кодов изменяется структура цифрового потока, формируемого в АЦО и ОВГ. При использовании радиорелейных, спутниковых и волоконно-оптических линейных трактах осуществляется модуляция колебания несущей частоты цифровым сигналом; последовательность радиоимпульсов или световых импульсов передается затем по линии.

В приемной части оконечного оборудования линейного тракта (ОЛТ) восстанавливается исходная структура цифрового потока, а также устраняются, в случае необходимости, фазовые флуктуации импульсов этого потока, возникающие в регенераторах. В системах с передачей радиоимпульсов или световых импульсов сигнал, переданный по линии, предварительно детектируется.

Искажения цифровых сигналов, возникающие из-за помех и потерь в линии, устраняются в регенераторах. Большая часть регенераторов размещается в необслуживаемых регенерационных пунктах НРП. На линиях значительной протяженности при большом числе регенераторов кроме НРП устанавливаются обслуживаемые регенерационные пункты ОРП, осуществляющие наряду с регенерацией цифрового сигнала подачу дистанционного питания в НРП. В ОРП может осуществляться также выделение некоторой части группового цифрового потока.

Дистанционное питание и телеконтроль регенераторов производятся из оконечных пунктов и ОРП. В регенераторе осуществляются усиления и коррекция переданного по линии цифрового сигнала и опознавание вида переданного символа.

Решение принимается методом однократного отсчета. При этом восстанавливаются исходные амплитудные и временные соотношения передаваемого сигнала.

На вход регенератора поступает импульсная последовательность, искаженная вследствие потерь в кабеле, неравномерности АЧХ участка линии между регенераторами и воздействия различного рода помех. В аналоговой части регенератора, включающей входной усилитель, корректор К, регулирующую искусственную линию РИЛ и основной усилитель, осуществляется компенсация потерь в линии и коррекция амплитудно-частотных искажений. Характеристики аналоговой части выбираются таким образом, чтобы обеспечить максимальное отношение сигнал/шум на входе решающего устройства РУ.

В аналоговой части с помощью искусственной линии осуществляется автоматическая регулировка уровня сигнала на выходе основного усилителя и, следовательно, на входе РУ. Искусственная линия компенсирует возможные отклонения длины участка регенерации от номинального значения, а также температурные изменения затухания кабеля, обеспечивая при этом постоянный уровень и форму импульсов, поступающих на вход решающего устройства. В РУ производится опознавание передаваемых кодовых символов и формирование регенерированных импульсов. Моменты срабатывания РУ определяются последовательностью хронизирующих импульсов, частота следования которых равна тактовой частоте входного сигнала.

Колебание тактовой частоты выделяется из спектра передаваемого сигнала пассивным или активным узкополосным фильтром ФВТЧ. После усиления выделенное гармоническое колебание подается на формирователь Ф, с выхода которого две хронизирующие последовательности, сдвиг между которыми составляет половину периода тактовой частоты, поступают на решающее устройство. Одна из последовательностей определяет момент сравнения входного сигнала с опорным напряжением в РУ (метод однократного отсчета) и

соответствует переднему фронту регенерированного импульса. Входной сигнал стробируется в моменты времени, априорно соответствующие его максимальным значениям. Необходимые временные соотношения обеспечиваются путем подстройки фазы гармонического колебания тактовой частоты в фазовращателе ФВ, установленном перед формирователем хранирующих импульсов.

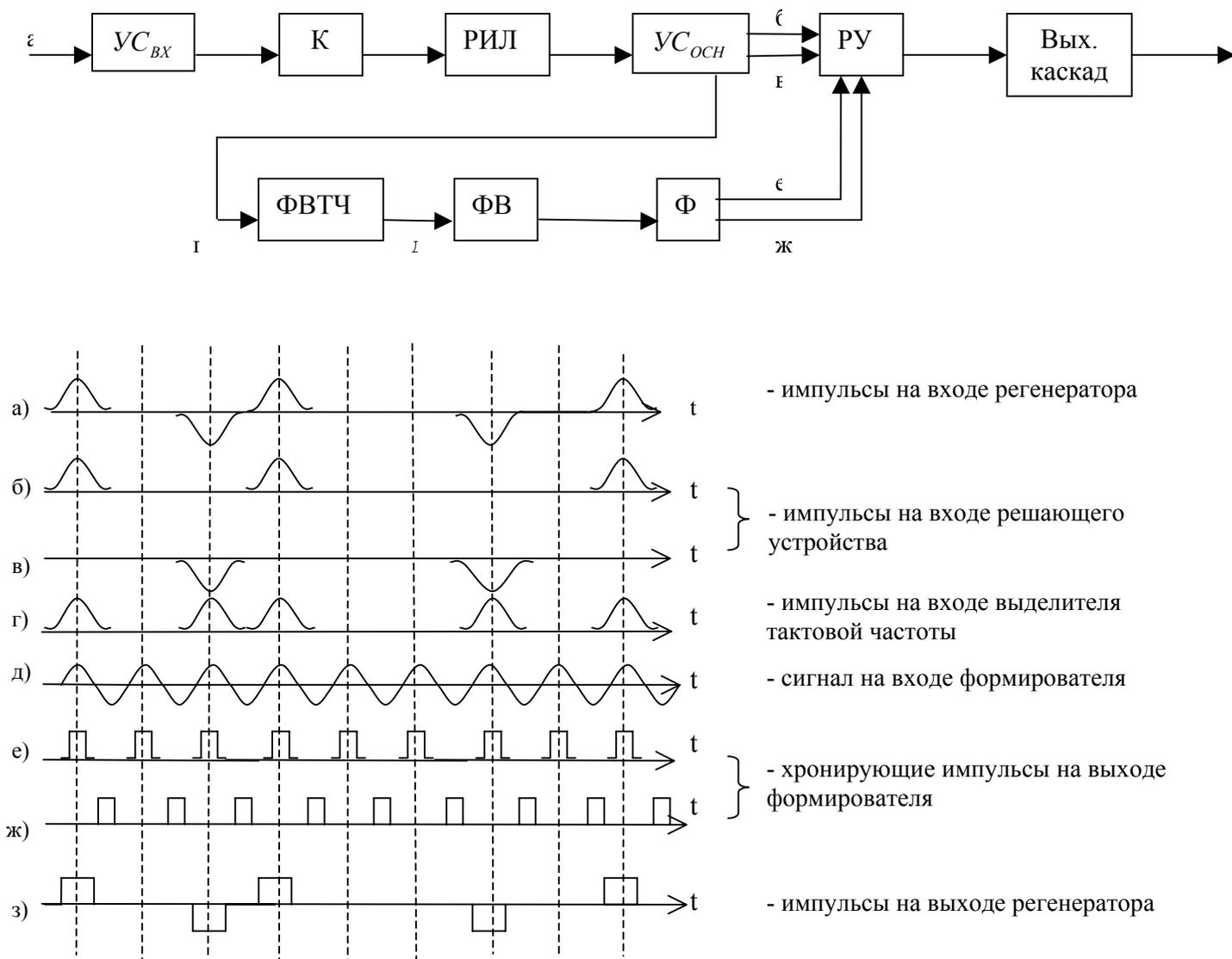


Рис.9.8. Структурная схема и временные диаграммы работы регенератора

Если сигнал на входе РУ в момент стробирования превышает порог, значение которого составляет обычно половину амплитуды входного импульса, решающее устройство срабатывает. Вторая последовательность хранирующих импульсов возвращает РУ в исходное состояние. Сформированный таким образом импульс поступает на выход регенератора. В линейных трактах кабельных цифровых систем обычно используют трехуровневую передачу (символы линейной последовательности могут принимать значения +1, -1 и 0), поэтому в регенераторе устанавливаются два отдельных решающих устройства – для

положительных и отрицательных импульсов. В этом случае сигналы с выходов РУ объединяются и поступают в линию.

В регенераторах с самохронированием возникают флуктуации временного положения хронизирующих импульсов, что приводит к фазовым флуктуациям импульсов на выходе регенератора. Действующее значение фазовых флуктуаций импульсов линейного сигнала, возникающих в отдельном регенераторе, составляет обычно 0,003 – 0,025 периода тактовой частоты линейного сигнала ($1-8^\circ$).

Конечной целью преобразования кодов и регенерации линейного сигнала является снижение вероятности ошибки при передаче кодовых символов и величины фазовых флуктуаций импульсов в линейной последовательности. Обычно вероятность ошибки в цифровом тракте обеспечивается в пределах 10^{-10} . При необходимости для уменьшения искажений из-за фазовых флуктуаций в приемном оконечном оборудовании может использоваться подавитель фазовых флуктуаций.

9.6 Иерархия цифровых систем передачи

Цифровые системы передачи, используемые на сетях связи, соответствуют определенной иерархической структуре. Иерархия ЦСП должна удовлетворять следующим требованиям:

- система передачи должна обеспечивать передачу всех видов аналоговых и дискретных сигналов;
- скорость передачи информации должна быть выбрана с учетом использования оборудования как аналого-цифрового преобразования, так и временного группообразования сигналов;
- должно обеспечиваться простое объединение, разделение и транзит передаваемых сигналов;
- при передаче типовых сигналов необходимо, чтобы пропускная способность ЦСП использовалась наилучшим образом;
- должна быть предусмотрена возможность взаимодействия цифровых систем с аналоговыми системами;
- параметры ЦСП должны выбираться с учетом характеристик существующих и перспективных линий связи.

Существует два типа схем цифровой иерархии – плезиохронная цифровая иерархия PDH и синхронная цифровая иерархия SDH. К началу 80-х годов были разработаны три схемы PDH. В первой и второй (американской и японской) в качестве скорости первичного цифрового потока ПЦП была выбрана скорость 1544 кбит/с, обеспечивающая передачу 24-х основных цифровых каналов ОЦК со скоростью 64 кбит/с. В третьей (европейской) в качестве скорости ПЦП была выбрана скорость 2048 кбит/с (30 информационных цифровых каналов 64 кбит/с и два канала сигнализации и управления 64 кбит/с).

Уровень цифровой иерархии	Скорость передачи		
	Американская 1544 кбит/с	Японская 1544 кбит/с	Европейская 2048 кбит/с
0	64	64	64
1	1544(×24)	1544(×24)	2048(×30)
2	6312(×4)	6312(×4)	8448(×4)
3	44 736(×7)	32 064(×5)	34 368(×4)
4	-	97 728(×3)	139 264(×4)

Особенности ПЦИ. При формировании первичного цифрового потока используется метод мультиплексирования с чередованием октетов или байтов, что в принципе позволяет идентифицировать байты каждого канала в общем потоке. Однако, учитывая, что общая синхронизация входных последовательностей отсутствует, при мультиплексировании второго и более высоких уровней иерархии используется метод мультиплексирования с чередованием бит, а не байт. При этом мультиплексор не создает структуры сигнала, которая могла бы быть использована для определения позиции бита каждого сигнала.

Более того, мультиплексор выравнивает скорости входных потоков путем добавления нужного числа выравнивающих символов, а информация об этом передается по служебным каналам, формируемым отдельными битами в структуре цикла. На последующих уровнях мультиплексирования эта схема повторяется, добавляя новые биты. Эти биты затем удаляются/добавляются при демультиплексировании на приемной стороне для восстановления исходной цифровой последовательности. Такой процесс передачи получил название плезиохронного, а цифровые иерархии, построенные на этом принципе получили название плезиохронных.

Недостатки ПЦИ. Суть основных недостатков PDH заключается в том, что добавление выравнивающих скорость бит делает невозможным идентификацию и вывод компонентного потока 64 кбит/с или 2 Мбит/с, «зашифтого», например, в поток 140 Мбит/с без полного демультиплексирования этого потока и удаления выравнивающих бит. Это обстоятельство в значительной мере затрудняет создание разветвленной транспортной сети. В этом случае для аппаратурной реализации сети требуется чрезмерно большое количество мультиплексоров, в результате эксплуатация сети становится экономически невыгодной.

Другое узкое место технологии PDH – слабые возможности в организации служебных каналов для цепей контроля и управления потоком в сети и практически полное отсутствие средств маршрутизации низовых потоков, поскольку соответствующие PDH рекомендации МСЭ – Т вообще не предусматривают необходимые для нормальной маршрутизации заголовки.

Указанные недостатки PDH и желание их преодолеть привели к разработке в США другой системы цифровой иерархии – иерархии синхронной оптической сети SONET, а в Европе аналогичной синхронной цифровой иерархии SDH,

предложенными к применению на волоконно-оптических линиях связи, где нет строгих ограничений по скорости передачи. Целью разработки была иерархия, которая позволила бы:

- вводить/выводить компонентные потоки без необходимости производить сборку/разборку группового потока (это означает иметь возможность определять положение каждого потока, составляющего общий поток).
- разработать новую структуру циклов, позволяющих осуществлять не только развитую маршрутизацию, но и осуществлять в пределах иерархии управление сетями с топологией любой сложности.
- систематизировать иерархический ряд скоростей передачи и продолжить его за пределы ряда PDH;
- разработать стандартные интерфейсы для обеспечения стыковки оборудования разных производителей;
- иметь возможность контроля качества прохождения компонентных потоков в пределах всего трафика.

Параметры сигналов синхронной иерархии для различных схем (американской и европейской) приведены в таблице. В данном случае несомненной заслугой разработчиков и международных институтов является то, что обе версии являются совместимыми в ряде точек иерархии.

Скорость передачи синхронной цифровой иерархии Мбит/с	Обозначение уровня иерархии	
	SDH	SONET
51,48	CTM – 0	OC – 1/STS – 1
155,52	CTM – 1	OC – 3/STS – 3
622,08	CTM – 4	OC – 12/STS – 12
2488,32	CTM – 16	OC – 48/STS – 48
9953,28	CTM – 64	OC – 192/STS – 192

Синхронные сети имеют ряд преимуществ перед используемыми ранее плезиохронными, которые по сути являются асинхронными. Основные из этих преимуществ следующие:

- упрощение сети, вызванное тем, что в синхронной сети один мультиплексор ввода/вывода, позволяя непосредственно ввести или вывести, например, сигнал E1 (2Мбит/с) из цикла CTM – 1, заменяет целую гирлянду мультиплексоров ПЦИ;
- надежность и самовосстанавливаемость сети, обусловленные тем, что, во-первых, сеть использует волоконно-оптические кабели, передача по которым практически не подвержена действию электромагнитных помех, и, во-вторых, архитектура и гибкое управление сетями позволяет использовать защищенный режим работы, допускающий два альтернативных пути распространения сигнала с почти мгновенным переключением в случае повреждения одного из них, а также обход поврежденного узла сети, что делает эти сети самовосстанавливающимися;

- гибкость управления сетью, обусловленная наличием большого числа широкополосных каналов управления и компьютерной иерархической системой управления с уровнями сетевого и элементного менеджмента, а также возможностью автоматического дистанционного управления сетью из одного центра, включая динамическую реконфигурацию каналов и сбор статистики о функционировании сети;
- выделение полосы пропускания по требованию – сервис, который раньше мог быть осуществлен только по заранее спланированной договоренности, теперь может быть предоставлен в считанные секунды путем переключения на другой (широкополосный) тракт;
- прозрачность для передачи любого трафика - факт, обусловленный использованием виртуальных контейнеров для передачи трафика, сформированного другими технологиями, включая самые современные технологии Frame Relay, ISDN и ATM;
- универсальность применения – технология может быть использована как для создания глобальных сетей или глобальной магистрали, передающей из точки в точку тысячи каналов со скоростью до 40 Гбит/с, так и для компактной кольцевой корпоративной сети, объединяющей десятки локальных сетей;
- простота наращивания мощности – при наличии универсальной стойки для размещения аппаратуры переход на следующую более высокую скорость иерархии можно осуществить, просто вынув одну группу функциональных блоков и вставив новую.

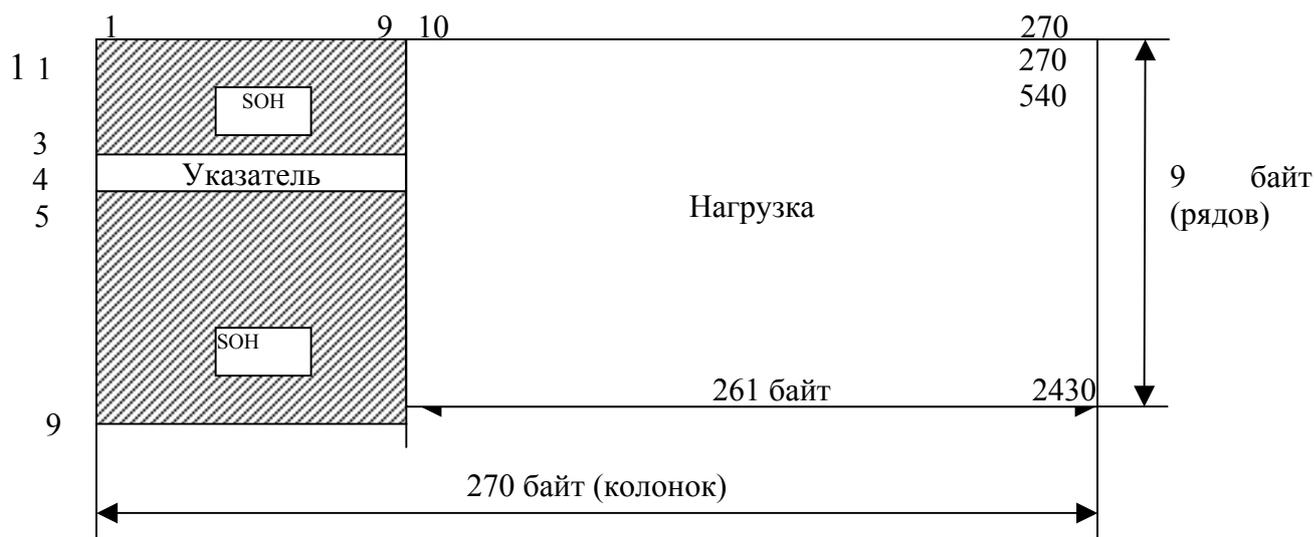
Естественно, что при построении любой иерархии должен быть определен либо ряд стандартных скоростей этой иерархии, либо правило его формирования и первый член ряда. Если для PDH значение 64 кбит/с вычислялось достаточно просто, то для SDH значение первого члена ряда можно получить только после определения структуры цикла и его размера. Схема логических рассуждений такова: поле полезной нагрузки должно вмещать максимальный по размеру виртуальный контейнер VC – 4, формируемый при вложении компонентного потока 140 Мбит/с. Его размер $9 \times 261 = 2349$ байт, что и определяет размер поля полезной нагрузки STM –1. Добавление к нему поля заголовков определяет размер синхронного транспортного модуля STM –1: $9 \times 261 + 9 \times 9 = 9 \times 270 = 2430$ байт или $2430 \times 8 = 19440$ бит, что при частоте повторения 8 кГц позволяет определить порождающий член ряда для иерархии СЦИ: $19440 \times 8000 = 155520$ кбит/с.

Очевидные преимущества сетей SDH перед сетями PDH не имели бы такого успеха, если бы не обеспечивали преемственность и поддержку стандартов PDH. Отсюда вытекает первая особенность иерархии SDH – поддержка в качестве входных сигналов для каналов доступа – компонентных потоков PDH американской и европейской иерархии.

Вторая особенность – процедура формирования структуры цикла. Компонентные потоки должны быть упакованы в оболочку цикла так, чтобы их легко можно было ввести и вывести в нужном месте. Для этого сам цикл

достаточно представить в виде некоторого контейнера стандартного размера, имеющего сопровождающую документацию – заголовок, где собраны все необходимые для управления и маршрутизации данные, и внутренней емкости для размещения полезной нагрузки, где должны располагаться однотипные контейнеры меньшего размера низших уровней, которые также имеют заголовок и полезную нагрузку, и т.д. по принципу матрешки.

Структура цикла СТМ – 1 и особенности синхронной иерархии.



Для реализации этого метода используется понятие контейнер, в который упаковывается компонентный поток. По типоразмеру они делятся на 4 уровня по числу уровней PDH. Контейнер с ярлыком, содержащим управляющую информацию, является логическим, а не физическим объектом, поэтому его называют виртуальным контейнером.

Из-за возможных различий в типе составляющих цикл контейнеров и непредвиденных временных задержек в процессе загрузки, выгрузки и прохождения цикла положение контейнеров внутри цикла не фиксировано. Для устранения ошибки при вводе/выводе контейнера на каждый виртуальный контейнер заводится указатель, содержащий место начала контейнера внутри поля нагрузки. Указатель дает контейнеру право «плавать» под действием непредвиденных временных флуктуаций, но при этом гарантирует, что он не будет потерян.

Итак, третья особенность иерархии SDH – положение виртуального контейнера определяется с помощью указателей, позволяющих устранить противоречие между синхронностью обработки и возможным изменением положения контейнера внутри поля полезной нагрузки.

Четвертая особенность иерархии SDH – несколько контейнеров одного уровня могут быть сцеплены вместе и рассматриваться как один непрерывный контейнер, используемый для размещения нестандартной полезной нагрузки. Дело в том, что хотя размеры контейнеров различны и емкость контейнеров верхних

уровней достаточно велика, может оказаться, что либо она все равно недостаточна, либо под нагрузку лучше выделить несколько контейнеров меньшего размера.

Пятая особенность иерархии SDN состоит в том, что в ней предусмотрено формирование отдельного (что обычно применяется в технологии пакетной обработки для локальных сетей) поля заголовков размером $9 \times 9 = 81$ байт. Хотя перегруженность общим заголовком невелика и составляет всего 3,33%, он достаточен для размещения необходимой управляющей и контрольной информации и организации необходимых служебных каналов передачи данных. Передача заголовка эквивалентна организации потока служебной информации со скоростью 5,184 Мбит/с.

9.7 Особенности построения волоконно-оптических цифровых систем передачи

Волоконно-оптическая цифровая система передачи – это вид ЦСП, при котором

информация передается по оптическим волокнам, объединенным в волоконно-оптический кабель. Передача информации по волоконно-оптическим линиям связи имеет целый ряд достоинств перед передачей по медным кабелям.

Широкая полоса пропускания – обусловлена чрезвычайно высокой частотой несущей 10¹⁴ Гц. Это дает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько терабит/с. Большая полоса пропускания – это одно из наиболее важных преимуществ оптического волокна над медной или любой другой средой передачи информации. Именно отсутствие резкого ограничения скорости передачи при заданной длине регенерационного участка позволило ввести избыточность в линейный сигнал, необходимую для организации потока служебной информации, реализующего технологию SDN.

Малое затухание светового сигнала в волокне. Выпускаемое в настоящее время промышленное оптическое волокно имеет затухание на уровне 0,2 – 0,3 дБ/км. Малое затухание и небольшая дисперсия позволяют реализовать линии связи с длиной регенерационного участка 100 км и более, что во многих случаях позволяет обойтись без необслуживаемых регенерационных пунктов.

Высокая помехозащищенность. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих электрических систем и оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т.д.). В многоволоконных кабелях также не возникает проблемы перекрестного влияния электромагнитного излучения, присущей многопарным медным кабелям. Отсутствует влияние грозовых разрядов и т.п.

Малый вес и объем. Волоконно-оптические кабели ВОК имеют меньший вес и объем по сравнению с медными кабелями в расчете на одну и ту же пропускную

способность. Например, 900-парный тлф кабель диаметром 7,5 см может быть заменен одним волокном с диаметром 0,1 см. Если волокно «одеть» в множество защитных оболочек и покрыть стальной ленточной броней, диаметр такого ВОК будет 1,5 см, что в несколько раз меньше рассматриваемого тлф кабеля.

Высокая защищенность от несанкционированного доступа. Поскольку ВОК практически не излучает в радиодиапазоне, то передаваемую по нему информацию трудно подслушать, не нарушая приема-передачи. Система мониторинга целостности оптической линии связи, используя свойства высокой чувствительности волокна, могут мгновенно отключить «взламываемый» канал связи и подать сигнал тревоги.

Гальваническая развязка элементов сети. Данное преимущество оптического волокна заключается в его изолирующем свойстве. Волокно помогает избежать электрических «земельных» потерь, которые могут возникать, когда два сетевых устройства неизолированной вычислительной сети, связанные медным кабелем, имеют заземления в разных точках здания, например, на разных этажах. При этом может возникнуть большая резкость потенциалов, способная повредить сетевое оборудование.

Взрыво-пожаробезопасность. Из-за отсутствия искрообразования оптическое волокно повышает безопасность сети на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях, при обслуживании технических процессов повышенного риска.

Экономичность ВОК. Волокно изготовлено из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, широко распространенного, а потому недорогого материала, в отличие от меди. В настоящее время стоимость волокна по отношению к медной паре соотносится как 2:5. при этом ВОК позволяет передавать сигнал на значительно большие расстояния.

10. Сети подвижной связи

В настоящее время ведется интенсивное внедрение сетей подвижной связи СПС. Такие сети предназначены для обеспечения подвижных и стационарных объектов телефонной связью и передачей данных. Преимущества СПС состоят в следующем: подвижная связь позволяет абоненту получать услуги связи в любой точке в пределах зон действия наземных или спутниковых сетей. Благодаря прогрессу в технологии производства средств связи созданы малогабаритные универсальные абонентские терминалы АТ, сопрягаемые с персональным компьютером ПК и имеющие интерфейсы для подключения к СПС всех действующих стандартов.

Сети подвижной связи можно разделить на следующие классы: сети сотовой подвижной связи ССПС; сети транкинговой связи СТС; сети персонального радиовызова СПР; сети персональной спутниковой (мобильной) связи.

Сети сотовой подвижной связи. Среди современных коммуникационных средств наиболее стремительно развиваются сети сотовой радиотелефонной связи. Их внедрение позволило решить проблему экономичного использования полосы

радиочастот путем передачи сообщений на одних и тех же частотах и увеличить пропускную способность телекоммуникационных сетей. Свое название они получили в соответствии с сотовым принципом организации связи, согласно которому зона обслуживания делится на ячейки (соты). Использование современной технологии позволяет обеспечить абонентам таких сетей высокое качество речевых сообщений, надежность и конфиденциальность связи, миниатюрность радиотелефонов, защиту от несанкционированного доступа в сеть.

Сети транкинговой связи. До некоторой степени близки к сотовым: это также сети наземной подвижной связи, в первую очередь радиотелефонной, обеспечивающие неограниченную мобильность абонентов в пределах достаточно большой зоны обслуживания. Основное отличие состоит в том, что СТС проще по принципам построения и предоставляют абонентам меньший набор услуг, но за счет этого они дешевле сотовых. СТС имеют значительно меньшую емкость, чем сотовые, и принципиально не могут стать системами массовой мобильной связи. Если использовать аналогию с сотовой связью, то в простейшем случае СТС – это одна ячейка сотовой системы. Сотовая сеть всегда строится в виде множества ячеек, замыкающихся на общий центр коммутации ЦК, с передачей обслуживания из ячейки в ячейку по мере перемещения абонента. При необходимости наращивания емкости производится дополнительное дробление ячеек с соответствующей модификацией частотного плана (распределение частот по ячейкам). В СТС, заведомо идущей на функционирование с ограниченной емкостью, обычно стремятся предельно увеличить зону действия. Практически радиус ячейки СТС может достигать 40-50 км и более. Отсюда вытекает большая по сравнению с сотовой связью мощность передатчика, большой расход энергии источника питания, большие габариты и масса.

Сети персонального радиовызова или пейджинговые сети – это сети односторонней мобильной связи, обеспечивающие передачу коротких сообщений из центра системы на миниатюрные абонентские приемники. Отличительная особенность пейджинговой связи, имеющая качественный характер, - асинхронная передача информации, т.е. работа вне реального времени, когда сообщение передается не в момент его выдачи отправителем, а в порядке очереди с аналогичными сообщениями других отправителей. Хотя практически задержка от момента получения сообщения до его передачи в эфир невелика, обычно она не превышает нескольких минут.

Сети мобильной спутниковой связи. В настоящее время представляются актуальными следующие области применения мобильной спутниковой связи: расширение сотовых сетей; использование спутниковой связи вместо сотовой в тех районах, где последней пока нет или ее развертывание нецелесообразно, например, из-за низкой плотности населения; дополнение сотовых сетей; стационарная беспроводная связь, например, в районах с малой плотностью населения при отсутствии проводной связи; в акваториях мирового океана; в местах разрывов наземной инфраструктуры и т.д.

При удалении пользователя за пределы зоны обслуживания местных сотовых сетей спутниковая связь играет ключевую роль, поскольку она не имеет ограничений по привязке абонента к конкретной местности. Во многих районах

мира спрос на услуги подвижной связи может быть эффективно удовлетворен только с помощью спутниковых систем.

10.1 Сети сотовой подвижной связи

В эволюционном развитии ССПС можно выделить три поколения: аналоговые системы, цифровые системы и универсальные системы мобильной связи.

К аналоговым ССПС относятся следующие стандарты:

- AMPS (усовершенствованная мобильная ТЛФ служба, диапазон 800 МГц) – США, Канада, Центральная и Южная Америка, Австралия; это наиболее распространенный стандарт в мире; используется в России в качестве регионального стандарта.
- TACS (общедоступная система связи, диапазон 900 МГц) – Англия, Италия, Испания, Австрия, Ирландия; второй по распространенности среди аналоговых;
- NMT – 450 и NMT – 900 (мобильный телефон северных стран) – используется в Скандинавии и во многих других странах, третий среди аналоговых; NMT – 450 является одним из двух стандартов, принятых в России в качестве федерального;
- C – 450 – Германия и Португалия;
- RTHS (450 МГц) – Италия;
- Radiocom 2000 (170, 200, 400 МГц) – Франция;
- NTT (100 – 900 МГц) – Япония.

Во всех аналоговых стандартах применяется частотная ЧМ или фазовая ФМ модуляция для передачи речи и частотная манипуляция для передачи информации управления. Этот способ имеет ряд существенных недостатков: возможность прослушивания разговоров другими абонентами, отсутствие эффективных методов борьбы с замираниями сигналов под влиянием окружающего ландшафта и зданий или вследствие передвижения абонентов. Для передачи информации различных каналов используются различные участки спектра частот – применяется метод множественного доступа с частотным разделением каналов с полосами каналов от 12.5 до 30 кГц в зависимости от стандарта. С этим непосредственно связан основной недостаток аналоговых систем – относительно низкая емкость из-за недостаточно рационального использования выделенной полосы частот при частотном разделении каналов.

Основные цифровые стандарты ССПС основаны на методе множественного доступа с временным разделением каналов TDMA или множественного доступа с кодовым разделением каналов CDMA. К ним относятся:

- D-AMPS (цифровой AMPS); диапазоны 800 МГц и 1900 МГц;
- GSM – глобальная система мобильной связи, диапазоны 900, 1800 и 1900 МГц – второй по распространенности стандарт в мире;
- CDMA – диапазоны 800 и 1900 МГц;
- JDC – японский стандарт цифровой сотовой связи.

Табл.10.1. Характеристики аналоговых стандартов сотовой связи

Характеристики	AMPS	TACS	NMT-450	NMT-900	Radiocom – 2000	NTT
Диапазон частот, МГц	825 – 845	935 – 950	453 – 457,5	935 – 960 890 – 915	424,8 - 427,9	925 – 940
	870 – 890	890 – 905	463 – 467,5		418,8-421,9	870 - 885
Радиус ячейки, км	2 – 20	2 – 20	2 – 45	0,5 – 20,0	5 – 20	5 – 10
Число каналов подвижной станции	666	600	180	1000/1999	256	до 1000
Число каналов базовой станции	96	144	30	30	-	120
Мощность пер-ка базовой станции, Вт	45	50	0	-	-	25
Ширина полосы частот канала, кГц	30	25	25	25,0/12,5	12,5	25
Время переключения канала на границе, мс	250	290	1250	270	-	800
Макс. девиация частоты в канале упр-ия, кГц	8	6,4	3,5	3,5	-	4,5
Макс. девиация в речевом канале, кГц	12	9,5	5	5	2,5	5
Минимальное отношение с/ш, дБ	10	10	15	15	-	15

Табл.10.2.Характеристики цифровых стандартов

Характеристика	GSM	D - AMPS	JDC	CDMA
Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA	CDMA
Число речевых каналов на несущую	8	3	3	32
Рабочий диапазон частот, МГц	935 – 960 890 - 915	824 – 840 869 - 894	810 – 826 940 – 956 1429 – 1441 1447 – 1489 1501 - 1513	824 – 840 869 – 894
Разнос каналов, кГц	200	30	25	1250
Эквивал. полоса частот на один разговорный канал, кГц	25	10	8.3	-
Вид модуляции	0.3GMSK	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK	QPSK
Скорость передачи информации, кбит/с	270	48	42	-
Скорость преобразования речи, кбит/с	13	8	11.2(5.6)	-
Алгоритм преобразования речи	PRE - LTR	VSELP	VSELP	-
Радиус соты, км	0.5 – 35.0	0.5 – 20.0	0.5 – 20.0	0.5 – 25.0

Цифровые ССПС по сравнению с аналоговыми системами предоставляют абонентам больший набор услуг и обеспечивают повышенное качество связи, а также взаимодействие с цифровыми сетями ISDN и пакетной передачи данных.

Дальнейшее развитие ССПС осуществляется в рамках создания проектов систем третьего поколения 3G, которые будут отличаться унифицированной

системой радиодоступа. Они охватывают технологии наземной сотовой, спутниковой связи и беспроводного доступа.

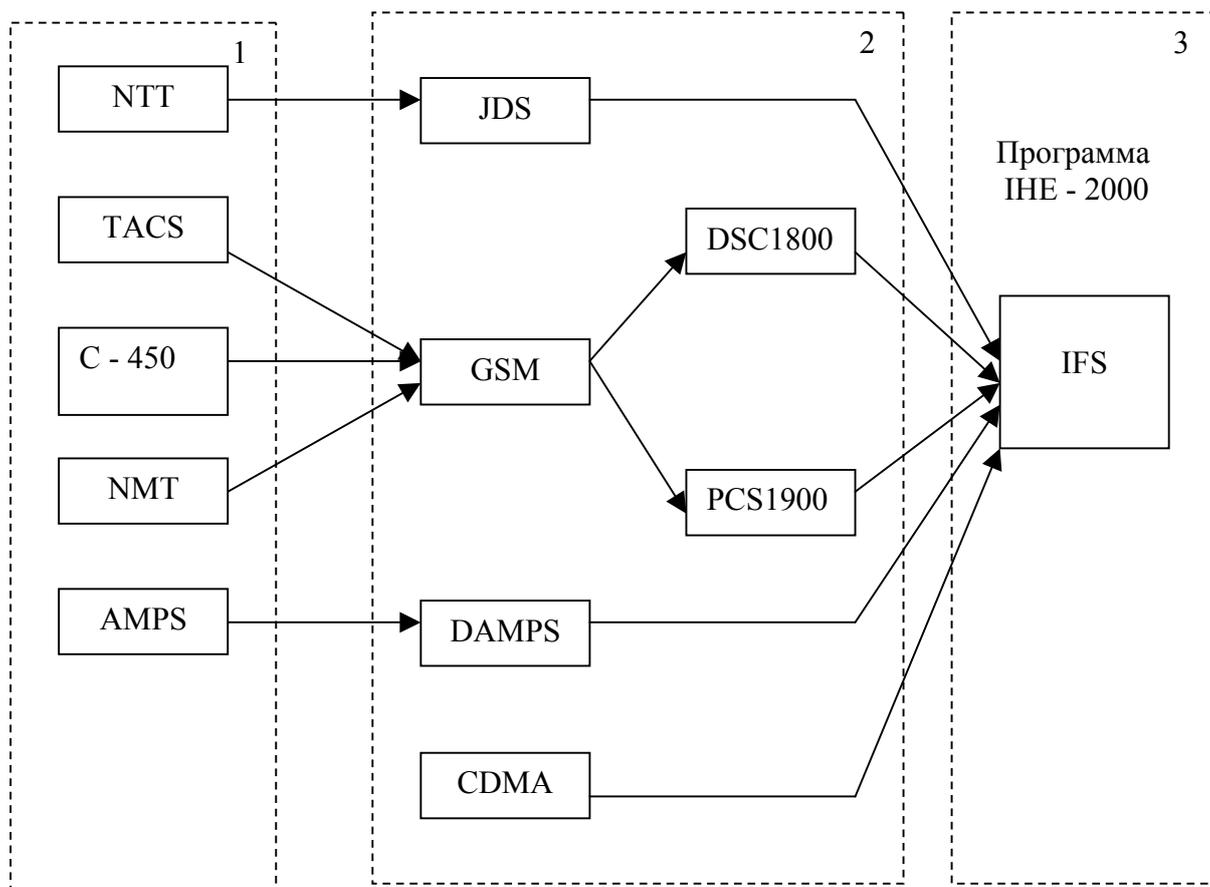


Рис.10.1 Поколения систем сотовой подвижной связи и этапы их развития

Элементы сетей сотовой связи

Система сотовой связи строится в виде совокупности ячеек (сот), покрывающих обслуживаемую территорию, ячейки обычно схематически изображают в виде правильных шестиугольников. В центре каждой ячейки находится базовая станция БС, обслуживающая все подвижные станции ПС в пределах своей ячейки. При перемещении абонента из одной ячейки в другую происходит передача его обслуживания от одной БС к другой. Все БС соединены с центром коммутации ЦК подвижной связи по выделенным проводным или радиорелейным каналам связи. С центра коммутации имеется выход на телефонную сеть общего пользования ТФОП.

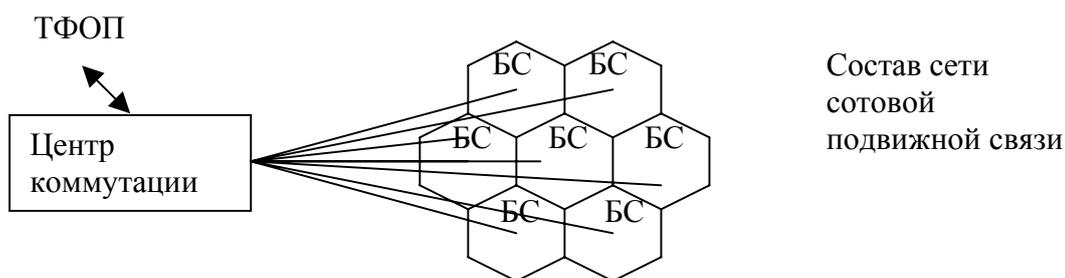


Рис.10.2. Функциональная схема сети сотовой связи.

Подвижная станция. В ее состав входят: блок управления; приемопередающий блок, антенный блок.

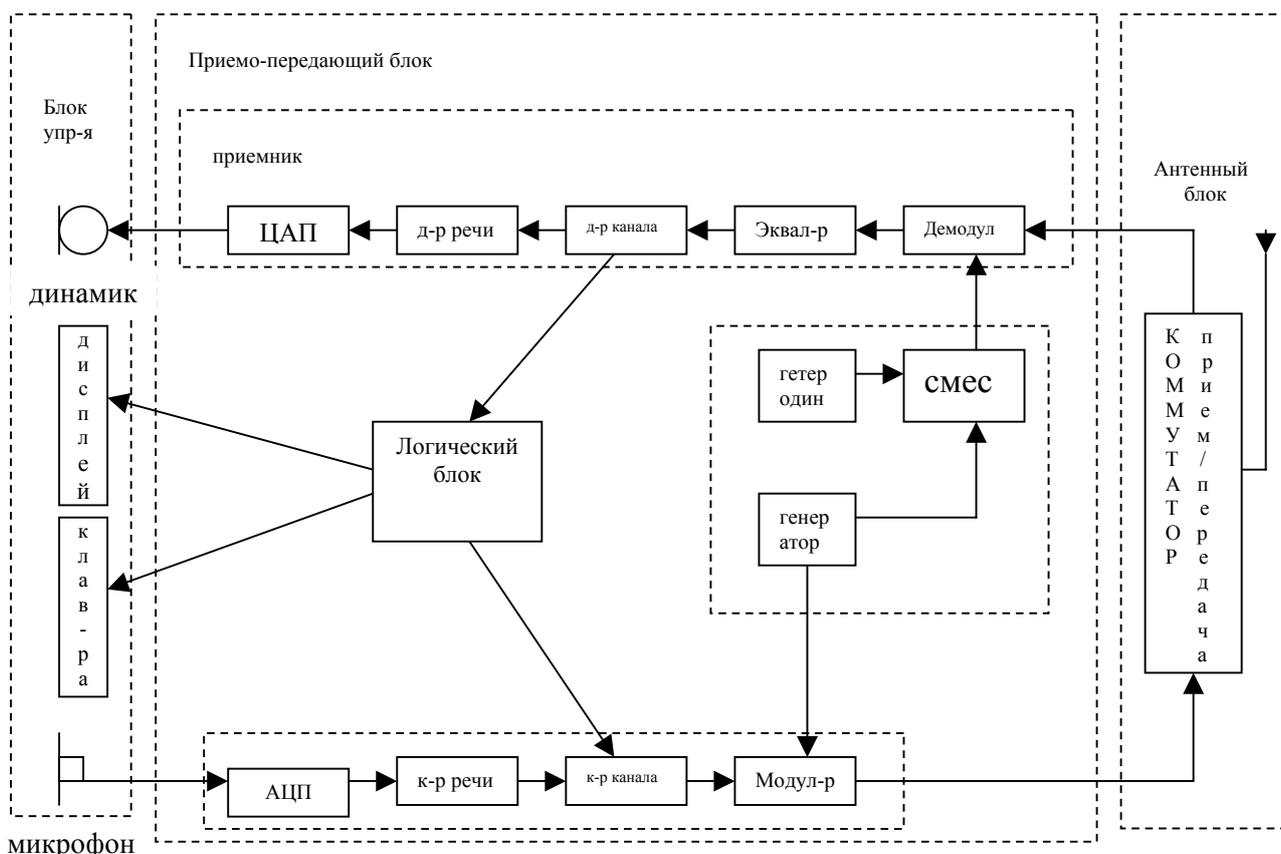


Рис.10.3. Функциональная схема подвижной станции.

Блок управления включает в себя микротелефонную трубку (микрофон и динамик), клавиатуру и дисплей. Клавиатура служит для набора номера телефона вызываемого абонента, а также команд, определяющих режим работы ПС. Дисплей служит для отображения различной информации, предусмотряваемой устройством и режимом работы станции.

Приемопередающий блок состоит из передатчика, приемника, синтезатора частот и логического блока.

В состав передатчика входят: АЦП – преобразует в цифровую форму сигнал с выхода микрофона, вся последующая обработка и передача сигнала речи производится в цифровой форме; кодер речи – осуществляет кодирование сигнала

речи, т.е. преобразование сигнала, имеющего цифровую форму, по определенным законам с целью сокращения его избыточности;

Кодер канала – добавляет в цифровой сигнал, получаемый с выхода кодера речи, дополнительную информацию, предназначенную для защиты от ошибок за счет введения избыточности при передаче сигнала по линии связи; с той же целью информация подвергается определенной переупаковке (перемежению); кроме того, кодер канала вводит в состав передаваемого сигнала информацию управления, поступающую от логического блока; модулятор – осуществляет перенос информации кодированного видеосигнала на несущую частоту.

Приемник по составу соответствует передатчику, но с обратными функциями входящих в него блоков: демодулятор – выделяет из модулированного радиосигнала кодированный видеосигнал, несущий информацию; декодер канала – выделяет из входного потока управляющую информацию и направляет ее на логический блок; принятая информация проверяется на наличие ошибок и выявленные ошибки исправляются; для последующей обработки принятая информация подвергается обратной (по отношению к кодеру) переупаковке; декодер речи – восстанавливает поступающий на него с декодера канала сигнал речи, переводя его в естественную форму, со свойственной ему избыточностью, но в цифровом виде; ЦАП – преобразует принятый цифровой сигнал речи в аналоговую форму и подает его на вход динамика; эквалайзер служит для частичной компенсации искажений сигнала вследствие многолучевого распространения; по существу, он является адаптивным фильтром, настраиваемым по обучающей последовательности символов, входящей в состав передаваемой информации; блок эквалайзера не является функционально необходимым и в некоторых случаях может отсутствовать.

Логический блок – это микрокомпьютер, осуществляющий управление работой ПС. Синтезатор является источником колебаний несущей частоты, используемой для передачи информации по радиоканалу. Наличие гетеродина и преобразователя частоты обусловлено тем, что для передачи и приема используются различные участки спектра (дуплексное разделение по частоте).

Антенный блок включает в себя антенну (в простейшем случае четвертьволновой штырь) и коммутатор прием/передача. Последний для цифровой станции представляет собой электронный коммутатор, подключающий антенну либо на выход передатчика, либо на вход приемника, т.к. ПС цифровой системы никогда не работает на прием и передачу одновременно.

Блок-схема подвижной станции является упрощенной. На ней не показаны усилители, селектирующие цепи, генераторы сигналов синхрочастот и цепи их разводки, схема контроля мощности на передачу и прием и управления ею, схема управления частотой генератора для работы на определенном частотном канале и т.п. Для обеспечения конфиденциальности передачи информации в некоторых системах возможно использование режима шифрования; в этих случаях передатчик и приемник ПС включают соответственно блоки шифратора и дешифратора сообщений. В ПС системы GSM предусмотрен специальный съемный модуль идентификации абонента (Subscriber Identity Module – SIM карта). Подвижная станция системы GSM включает также детектор речевой

активности, который с целью экономного расходования энергии источника питания, а также снижения уровня помех, создаваемых для других станций при работающем передатчике, включает работу передатчика на излучение только на те интервалы времени, когда абонент говорит. На время паузы в работе передатчика в приемный тракт дополнительно вводится комфортный шум. В необходимых случаях в ПС могут входить отдельные терминальные устройства, например факсимильный аппарат, в том числе подключаемые через специальные адаптеры с использованием соответствующих интерфейсов.

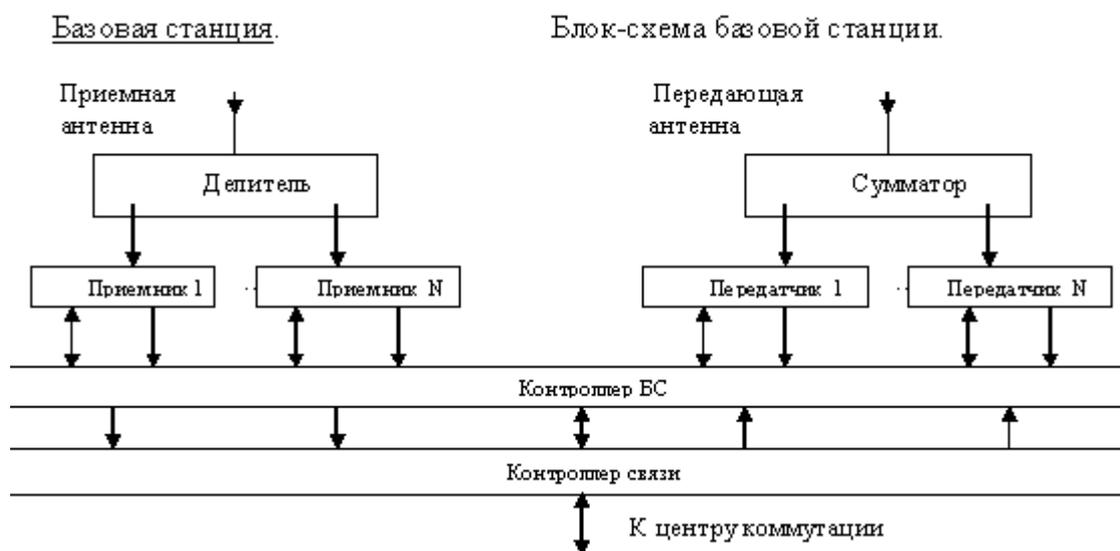


Рис.10.4. Блок-схема базовой станции

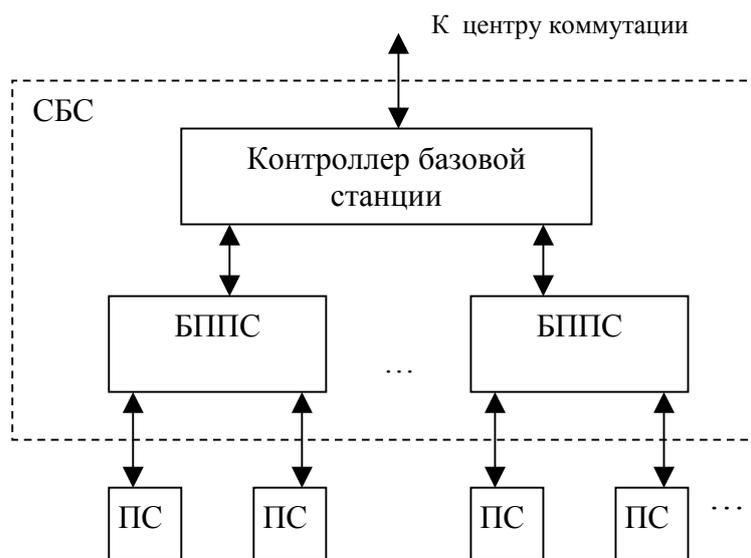
Особенностью БС является использование разнесенного приема, для чего станция должна иметь две приемные антенны на передачу и на прием. Другая особенность – наличие нескольких приемников и такого же числа передатчиков, позволяющих вести одновременную работу на нескольких каналах с различными частотами.

Одноименные приемники и передатчики имеют общие перестраиваемые опорные генераторы, обеспечивающие их согласованную перестройку при переходе с одного канала на другой; конкретное число N приемопередатчиков зависит от конструкции и комплектации БС. Для обеспечения одновременной работы N приемников на одну приемную и N передатчиков на одну передающую антенну между приемной антенной и приемниками устанавливается делитель мощности на N входов, а между передатчиками и передающей антенной – сумматор мощности на N входов.

Приемник и передатчик имеют ту же структуру, что и в ПС, за исключением того, что в них отсутствуют ЦАП и АЦП, поскольку и входной сигнал передатчика, и выходной сигнал приемника имеют цифровую форму. Возможны варианты, когда кодеки конструктивно реализуются в составе ЦК, а не в составе приемопередатчиков БС, хотя функционально они остаются элементами приемопередатчиков.

Блок сопряжения с линией связи осуществляет упаковку информации, передаваемой по линии связи на ЦК, и распаковку принимаемой от него информации. Для связи БС с ЦК обычно используется радиорелейная или волоконно-оптическая линия, если они не располагаются территориально в одном месте.

Контроллер БС (компьютер) обеспечивает управление работой станции, а также контроль работоспособности всех входящих в нее блоков и узлов. Для обеспечения надежности многие блоки и узлы БС резервируются, в состав станции включаются автономные источники бесперебойного питания (аккумуляторы).



Система базовой станции стандарта GSM.

Рис.10.5 Базовая станция стандарта GSM

В стандарте GSM используется понятие системы базовой станции СБС, в которую входит контроллер базовой станции КБС и несколько, например до 16, базовых приемо-передающих станций. В частности, три БППС, расположенные в одном месте и замыкающиеся на общей КБС, могут обслуживать каждая свой 120 – градусный азимутальный сектор в пределах ячейки или шесть БППС с одним КБС – шесть 60-градусных секторов. В стандарте D-AMPS в аналогичном случае могут использоваться соответственно три или шесть независимых БС, каждая со своим контроллером, расположенных в одном месте и работающих каждая на свою секторную антенну.

Центр коммутации. Центр коммутации – это автоматическая телефонная станция ССС, обеспечивающая все функции управления сетью. ЦК осуществляет постоянное слежение за ПС, организует их эстафетную передачу, в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении ПС из соты в соту и переключения рабочих каналов в соте при появлении помех и неисправностей.

На ЦК замыкаются потоки информации со всех БС, и через него осуществляется выход на другие сети связи – стационарную телефонную сеть,

сети междугородной связи, спутниковой связи, другие сотовые сети. В состав ЦК входит несколько процессоров (контроллеров).

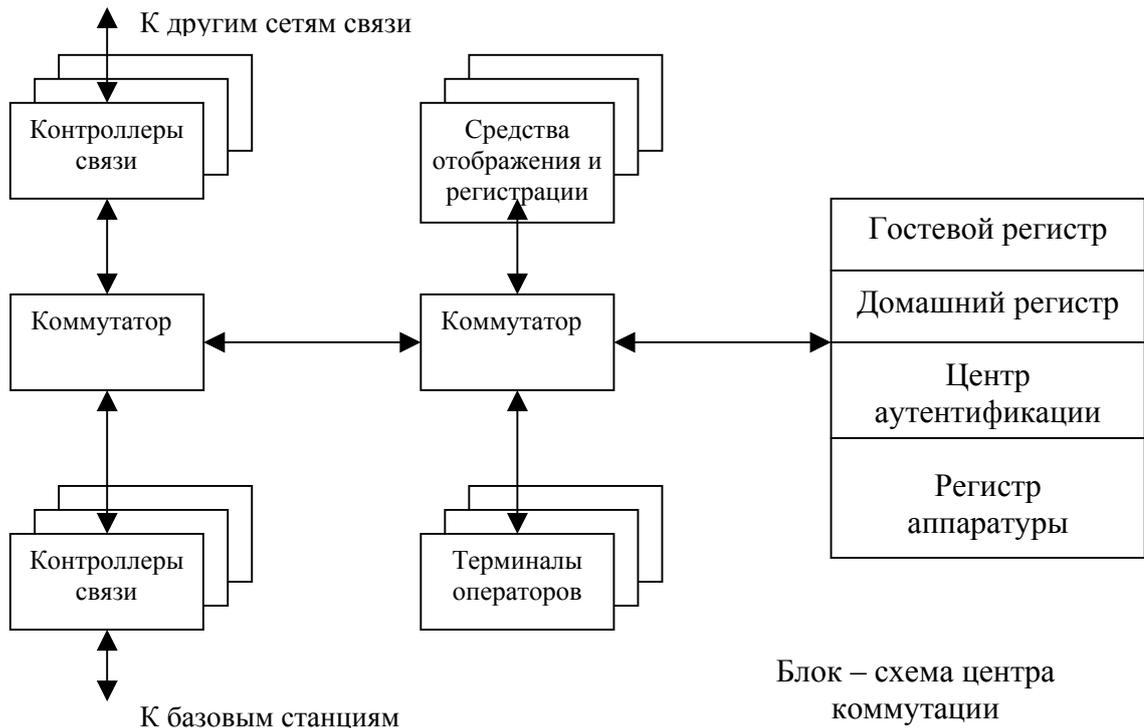


Рис.10.6.

Коммутатор подключается к линиям связи через соответствующие контроллеры связи, осуществляющие промежуточную обработку (упаковку/распаковку, буферное хранение) потоков информации. Управление работой ЦК и системы в целом производится от центрального контроллера. Работа ЦК предполагает участие операторов, поэтому в состав центра входят соответствующие терминалы, а также средства отображения и регистрации (документирования) информации. В частности, оператором вводятся данные об абонентах и условиях их обслуживания, исходные данные по режимам работы системы, в необходимых случаях оператор выдает требующиеся по ходу работы команды.

Важными элементами системы являются базы данных БД – домашний регистр, гостевой регистр, центр аутентификации, регистр аппаратуры. Домашний регистр содержит сведения обо всех абонентах, зарегистрированных в данной системе, и о видах услуг, которые могут быть им оказаны. В нем фиксируется местоположение абонента для организации его вызова и регистрируются фактически оказанные услуги. Гостевой регистр содержит сведения об абонентах – гостях (роумерах), т.е. об абонентах, зарегистрированных в другой системе, но пользующихся в настоящее время услугами сотовой связи в данной системе. Центр аутентификации обеспечивает процедуры аутентификации абонентов и шифрования сообщений. Регистр аппаратуры, если он существует, содержит сведения об эксплуатируемых ПС на предмет их исправности и санкционированного использования. В частности, в нем могут отмечаться украденные абонентские аппараты, а также аппараты,

имеющие технические дефекты, например, являющиеся источниками помех недопустимо высокого уровня.

10.2 Сети транкинговой связи

Транкинговые системы связи ТСС классифицируют по следующим признакам:

- 1) По методу передачи речевой информации: аналоговые и цифровые. Передача речи в радиоканале аналоговых систем осуществляется с использованием частотной модуляции, шаг сетки частот обычно составляет 12,5 кГц. Для передачи речи в цифровых системах используют различные типы вокодеров, преобразующих аналоговый речевой сигнал в цифровой поток со скоростью не более 4,8 кбит/с.
- 2) В зависимости от количества БС и общей архитектуры: однозоновые или многозоновые системы. В системах первого типа имеется одна БС, в системах второго типа – несколько БС с возможностью роуминга.
- 3) По методу объединения БС в многозоновых системах: БС могут объединяться с помощью единого коммутатора или соединяться друг с другом непосредственно, или через систему с распределенной коммутацией.
- 4) По типу многостанционного доступа: FDMA (с частотным разделением) или FDMA+TDMA (+ с временным разделением).
- 5) По способу поиска и назначения канала: системы с децентрализованным СДУ и централизованным СЦУ управлением. В СДУ процедуру поиска свободного канала выполняют абонентские радиостанции АР, что приводит к относительно большому времени установления соединения. В СЦУ поиск и назначение свободного канала производится на БС.
- 6) По типу канала управления КУ. Во всех ТСС каналы управления являются цифровыми. Различают системы с выделенным частотным КУ и системы с распределенным КУ. В системах с распределенным КУ информация о состоянии системы и поступающих вызовах распределена между низкоскоростными субканалами ПД, совмещенными со всеми рабочими каналами.
- 7) По способу удержания канала. ТСС позволяет абонентам удерживать канал связи на протяжении всего разговора или только на время передачи. Первый способ, называемый также транкингом сообщений, наиболее традиционен для систем связи и обязательно используется во всех случаях применения дуплексной связи или соединения с ТФОП. Второй способ может быть реализован только при использовании полудуплексных радиостанций РС, в которых передатчик включается только на время произнесения абонентом фраз разговора. Такой метод обслуживания, предусматривающий удержание канала только на время передачи, называется транкингом передачи. Платой за высокую эффективность данного метода служит снижение комфортности переговоров.

В состав БС, кроме радиочастотного оборудования (ретрансляторы, устройство объединения радиосигналов, антенны) входят также коммутатор, устройство управления УУ и интерфейсы к различным внешним сетям.

Ретранслятор РТ – набор приемопередающего оборудования, обслуживающего одну пару несущих частот. До последнего времени в подавляющем большинстве ТСС одна пара несущих соответствовала одному каналу трафика. В настоящее время с появлением стандартов, предусматривающих временное уплотнение, один РТ может обеспечить два или четыре канала.

Антенны БС, как правило, имеют круговую диаграмму направленности. При расположении БС на краю зоны применяются направленные антенны. БС может располагать как единой приемопередающей антенной, так и отдельными антеннами для приема и передачи. В некоторых случаях на одной мачте может размещаться несколько приемных антенн для борьбы с замираниями, вызванными многолучевым распространением.

Устройство объединения радиосигналов позволяет использовать одно и то же антенное оборудование для одновременной работы приемников и передатчиков на нескольких частотных каналах. РТ работают только в дуплексном режиме, разнос частот приема и передачи составляет от 45 МГц до 3 МГц.

Коммутатор в однозоновой ТСС обслуживает весь ее трафик, включая соединения МА (мобильного абонента) с ТфОП и все вызовы, связанные с ПД.

Устройство управления обеспечивает взаимодействия всех узлов БС. Оно также обрабатывает вызовы, осуществляет аутентификацию вызывающих абонентов, ведение очередей вызовов, внесение записей в БД повременной оплаты. В некоторых системах УУ регулирует максимально допустимую продолжительность соединения с ТС. Как правило, используются два вида регулировки: уменьшение продолжительности соединения в заранее заданные часы наибольшей нагрузки, или адаптивное изменение в зависимости от текущей нагрузки.

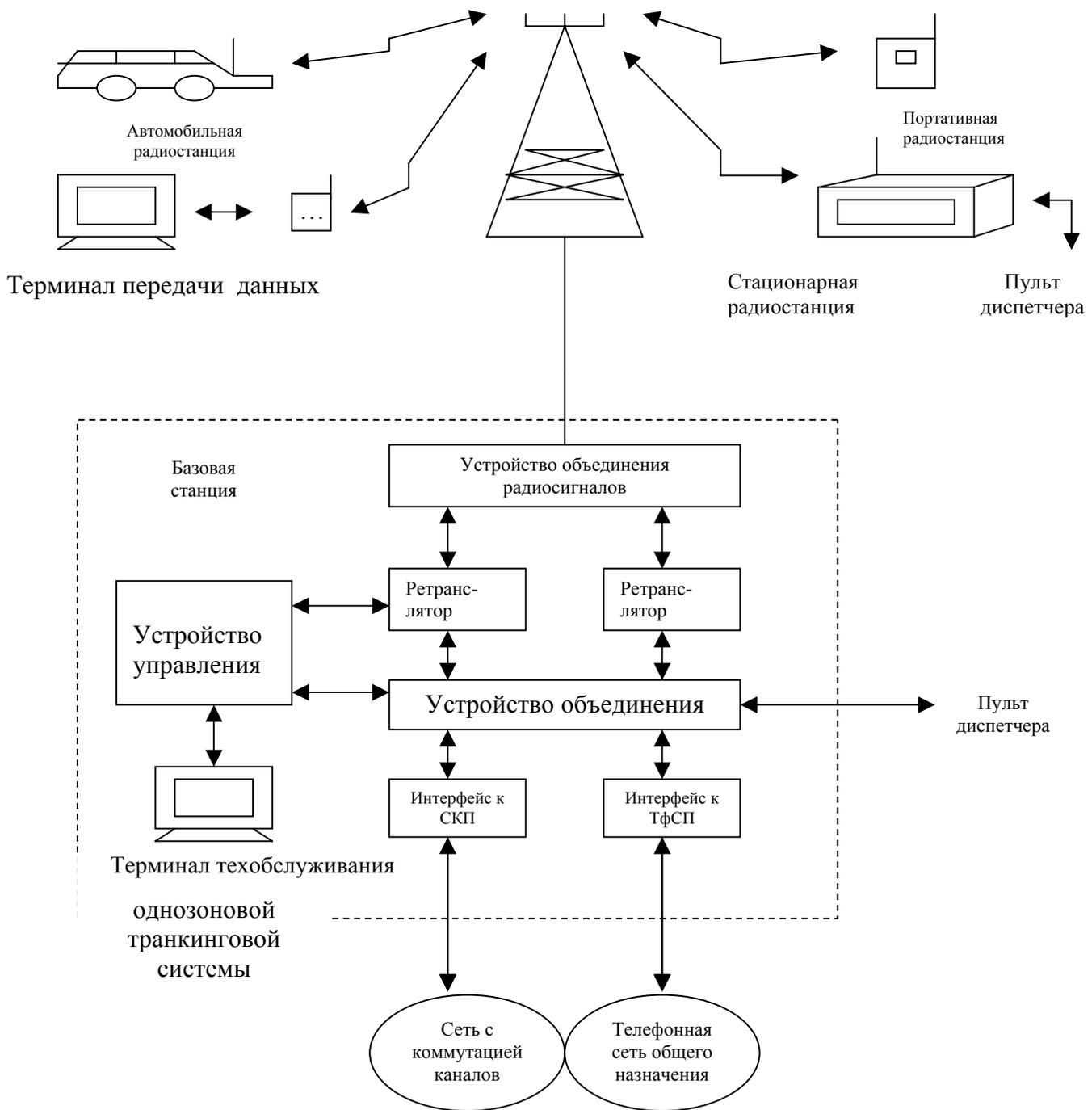


Рис. 10.7. Принципы построения транкинговых сетей

10.3 Сети персонального радиовызова

По способу передачи сигналов пейджинговые системы связи ПСС можно разделить на два типа: с односторонней (ОС) и двухсторонней (ДС) связью.

Наибольшее распространение сейчас имеют односторонняя ПСС, которые предполагают сплошное покрытие всей зоны обслуживания. На рис.10.8 приведена структурная схема односторонней ПСС.

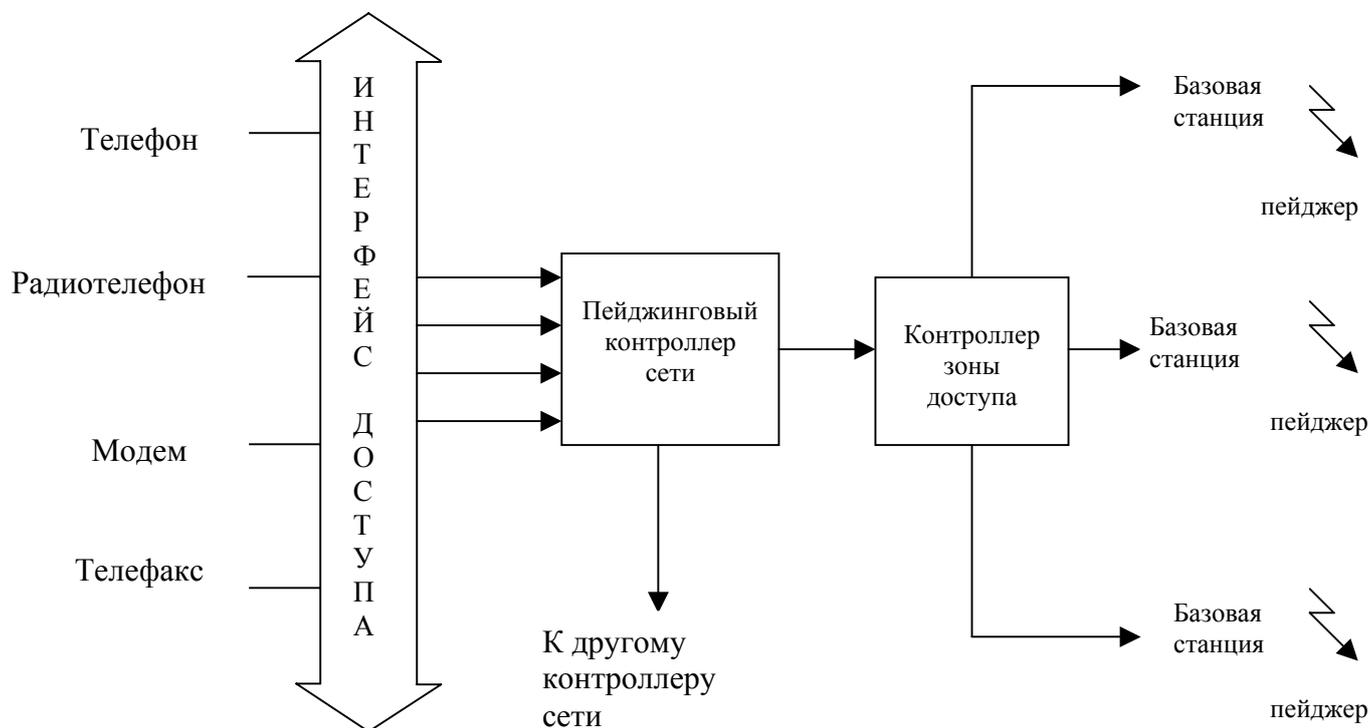


Рис.10.8. Схема односторонней пейджинговой сети

Данная сеть обладает достаточно большим набором услуг, среди которых можно выделить возможность приема сообщений на пейджер как от ТфОП и сетей подвижной радиосвязи, так и от модемов ПК и телефаксов. На пейджинговый контроллер сети информация попадает через интерфейс доступа, который является системой сбора и обработки поступающей информации и в общем случае включает в себя локальные рабочие места операторов, соединенные с коммутационным сервером сети.

В последнее время многие пейджинговые компании значительно увеличили число клиентов, предоставив им возможность передавать сообщения на пейджер непосредственно с ПК по электронной почте, через Интернет или при помощи модема с соответствующим ПО. В общем случае предоставляется следующий набор услуг:

- справочная служба;
- средства отправки сообщений с компьютера, радиотелефона, телефонов ГТС, удаленных телефонов;
- виртуальный пейджер;
- средства охранной, аварийной и другой сигнализации: сигнальные устройства с извещением на пейджер; исполнительные устройства;
- мобильный терминал двухстороннего пейджинга;

- роуминг;
- подсистема оператора;
- средства обеспечения расчетов за услуги с отправителем сообщений.

Одной из главных проблем пейджинговых сетей с односторонней связью является то, что они требуют высокой степени доверия к пользователю, поскольку невозможно проверить, получено ли им сообщение. При этом необходимо, чтобы пользователь обязательно находился в зоне обслуживания пейджинговой компании. Между тем, ценность любой коммуникационной системы неизмеримо возрастает, когда обеспечено подтверждение прохождения сообщений.

Системы двухсторонней связи позволяют не только послать сообщения, но и получать ответ на них. Для этого к стандартному пейджинговому приемнику добавляется маломощный передатчик. Использование пейджером с подтверждением приема сообщений значительно снижает требования к мощности приемников БС, т.к. допускается наличие в обслуживаемой зоне небольших областей «замирания».

В системах ДС при получении сообщения пейджер автоматически посылает в сеть подтверждение (квитанцию) о получении информации. Владелец пейджера знакомится с сообщением и может использовать ответы «да», «нет», «позвоню позже» и т.п. Вариант ответа выбирается из перечня, находящегося в памяти пейджера. Владелец пейджера выбирает подходящий ответ и нажатием кнопки сообщает его адресату. Последний для получения сообщения должен перезвонить обычно тому же самому оператору сети, с которым он общался ранее.

Существуют два способа организации как односторонней, так и двухсторонней пейджинговой сети: радиальный и сотовый.

Радиальный способ применяют, как правило, в ведомственных (локальных) или небольших городских сетях, в которых передача сообщений осуществляется одним передатчиком. В этом случае из-за особенностей распространения радиоволн, используемых для пейджинговой связи, дальность действия определяется, в основном, высотой установки передающей антенны.

Размеры рабочей зоны пейджинговых сетей могут быть значительно увеличены путем применения сотовой организации связи – увеличением числа и рациональным размещением БС. Этот способ применяется в крупных городах, а также при организации региональных и федеральных сетей.

10.4 Сети персональной спутниковой связи

Классификация. Сети персональной спутниковой связи СПС обладают рядом преимуществ по сравнению с рассмотренными ранее сетями подвижной связи. Например, если пользователь находится за пределами зоны обслуживания местных сотовых систем, спутниковая связь играет ключевую роль, поскольку она не имеет ограничений по привязке к конкретной местности. Во многих

регионах спрос на услуги подвижной связи может быть удовлетворен только с помощью спутниковых систем.

В зависимости от вида предоставляемых услуг ССС можно разделить на три основных класса: речевой (радиотелефонной) связи, пакетной передачи данных ППД; определения местоположения (координат) потребителей.

При радиотелефонной связи в ССС используют цифровую передачу сообщений, при этом обязательно должны выполняться международные стандарты. В таких системах задержка сигнала на трассе распространения не должна превышать 0,3 с и переговоры абонентов не должны прерываться во время сеанса связи. Обслуживание абонентов должно быть непрерывным и происходить в реальном масштабе времени РМВ. Для этого при построении радиотелефонной спутниковой сети необходимо учитывать следующие требования: спутники должны оснащаться высокоточной системой ориентации для удержания луча их антенны в заданном направлении; количество спутников в системе должно быть достаточным для обеспечения сплошного и непрерывного покрытия зоны обслуживания; для обеспечения достаточного количества каналов связи должны применяться многолучевые антенные системы, работающие на высоких частотах (более 1,5 ГГц), что значительно усложняет конструкцию антенн и космических аппаратов КА; для обеспечения непрерывности радиотелефонной связи через спутник, оснащенный многолучевыми антенными системами, требуется большое количество узловых (шлюзовых) станций ШС с дорогим коммутационным оборудованием.

Системы пакетной передачи данных ППД предназначены для передачи в цифровом виде любых данных (телексных, факсимильных сообщений, компьютерных данных и др.). Скорость ППД в космических системах связи составляет от единиц до сотен килобайт в секунду. В этих системах, как правило, не предъявляется жестких требований к оперативности доставки сообщений. В таком режиме работает электронная почта (поступившая информация запоминается бортовым компьютером и доставляется корреспонденту в заранее определенное время суток).

Для определения местоположения абонента применяется стандартная навигационная аппаратура GPS систем ГЛОНАСС/НАВСТАР, которая обеспечивает очень высокую точность определения координат потребителя и специальная навигационная аппаратура, которая по сигналам спутников персональной связи и/или ШС позволяет определять координаты потребителя, но с меньшей точностью. Используя аппаратуру второго типа, можно определять координаты абонента по сигналам 4-х спутников персональной связи, ШС, спутников и ШС.

Значительный прогресс в развитии ССПС достигнут благодаря внедрению новых технических решений, ключевыми из которых можно считать: обработку сигнала на борту спутника – ретранслятора СР, создание перспективных сетевых протоколов обмена информацией и применение недорогих портативных пользовательских терминалов с малым энергопотреблением.

В зависимости от назначения ССС могут быть военными, гражданскими государственными (например, системы телевизионного вещания) или

коммерческими; стационарными или подвижными; связь может осуществляться в РВ или с задержкой (например, с накоплением и последующим сбросом информации).

В космических системах, решающих задачи персональной связи, используются спутники, которые могут находиться на различных орбитах. В настоящее время применяют следующие типы спутников: высокоорбитальные или геостационарные GEO – с круговыми экваториальными орбитами высотой около 40 тыс. км и периодом обращения 24 часа; среднеорбитальные МEO – с круговыми орбитами высотой порядка 10 тыс. км; низкоорбитальные LEO – с круговыми орбитами высотой 700-1500 км.

КА, находящийся на низкой орбите, попадает в зону прямой видимости абонента лишь на 8-12 мин. Значит, для обеспечения непрерывной связи любого абонента потребуется большое число КА. С увеличением высоты орбиты КА зона прямой видимости СР и абонента увеличивается, что приводит к уменьшению количества спутников, необходимого для обеспечения непрерывной связи. Т.е. с увеличением высоты орбиты увеличиваются время и размеры зоны обслуживания и, следовательно, требуется меньшее число спутников для охвата одной и той же территории.

В системах, использующих КА на средневысоких орбитах, задержка распространения сигналов через СР составляет примерно 130 мс, что практически неуловимо для человеческого слуха и, следовательно, позволяет использовать такие спутники для радиотелефонной связи.

Системы ПСС по сфере предоставляемых услуг имеют много общего с наземными сотовыми сетями. Передача всех видов информации ведется в цифровой форме со скоростями 1200 – 9600 бит/с. Телефонный режим организуется с помощью встроенных в абонентский терминал АТ вокодеров, которые обеспечивают переменную скорость передачи речевого сигнала. Кроме дуплексной телефонной связи, персональные АТ позволяют подключать ПК и поддерживают разнообразный набор услуг: передача факсимильных сообщений, электронная почта, шифрование данных, определение местоположения абонента и др.

Системы спутниковой связи способны дополнить системы сотовой связи там, где она невозможна или недостаточно эффективна, например, в морских акваториях, в районах с малой плотностью населения, в местах разрывов наземной инфраструктуры телекоммуникаций и т.д.

Принципы построения сетей спутниковой связи

Любая ССС (рис.10.9) включает в себя: космический сегмент, состоящий из нескольких СР; наземный сегмент; пользовательский (абонентский) сегмент, осуществляющий связь при помощи персонального спутникового терминала ПСТ; наземные сети связи, с которыми через интерфейс связи сопрягают ШС космической связи.

Технические вопросы, связанные с использованием частот и расположением СР на орбитах, обеспечивающих отсутствие взаимных помех друг другу, решаются в рамках МККР и МКРЧ.

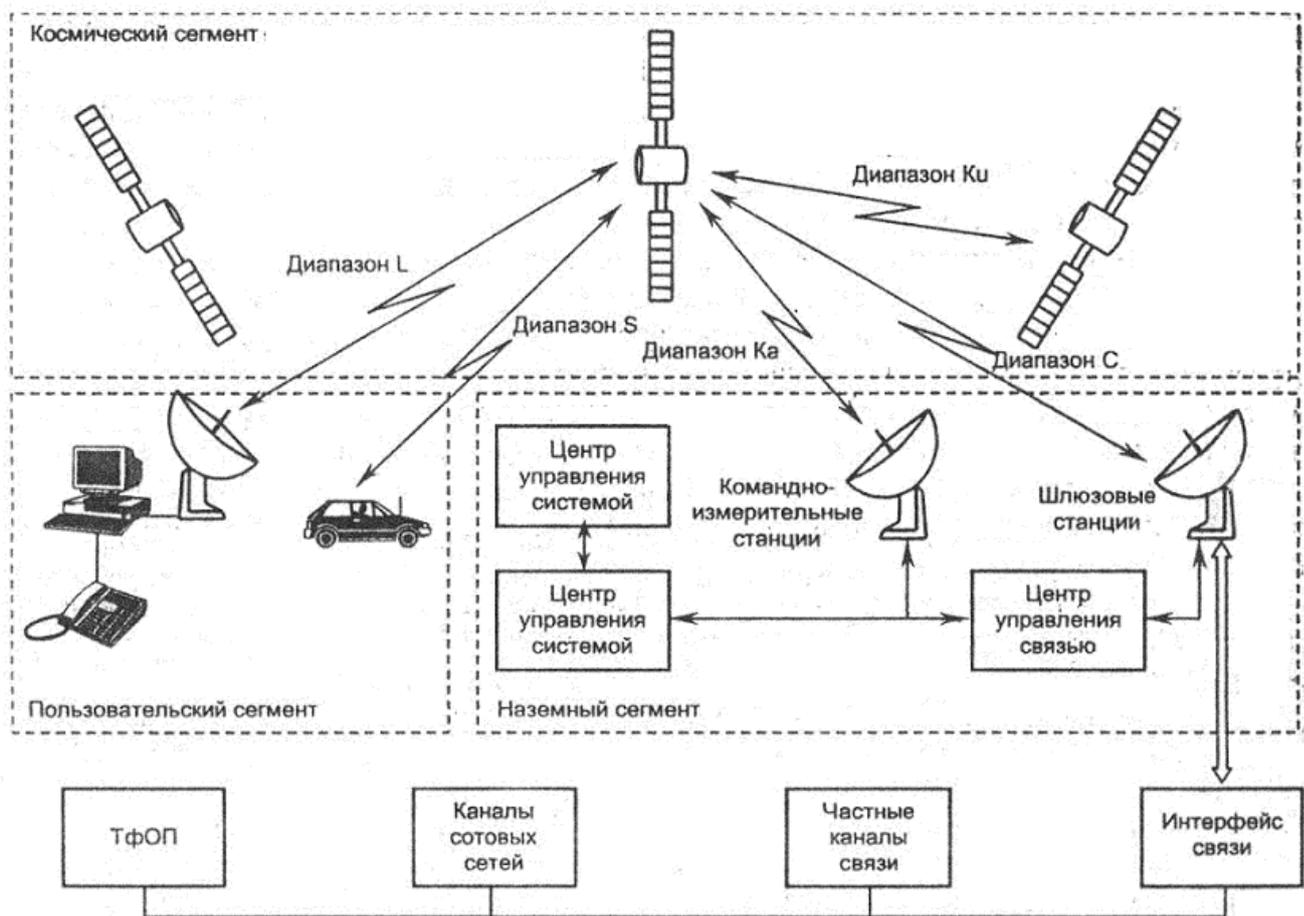


Рис.10.9. Структура систем спутниковой связи

Космический сегмент включает в себя несколько СР, которые образуют космическую группировку. СР, как правило, размещаются равномерно на определенных орбитах.

В состав любого связного КА входят следующие элементы: центральный процессор; радиоэлектронное оборудование; антенные системы; система ориентации и стабилизации; двигательная установка; система электропитания (аккумуляторы и солнечные батареи).

Для поддержания непрерывной связи необходимо, чтобы в тот момент, когда спутник группировки покидает зону обслуживания, на смену ему приходил другой, затем третий и т.д. Это напоминает принцип сотовой связи, только роль базовых станций здесь играют спутники. Число спутников в группировке выбирается из компромисса между стоимостью и объемом услуг связи, с одной стороны, и простотой и ценой персонального спутникового терминала – с другой.

Чтобы обеспечить связью абонентов не только в зоне видимости одного КА, но и на всей территории Земли, соседние спутники должны связываться между собой и передавать информацию по цепочке, пока она не дойдет до адресата. Эту задачу в некоторых системах выполняют наземные шлюзовые станции. Наземный сегмент состоит из центра управления системой ЦУС, центра запуска КА, центра управления связью и шлюзовых станций ШС.

ЦУС осуществляет слежение за КА, расчет их координат, сверку и коррекцию времени, диагностику работоспособности бортовой аппаратуры, передачу служебной (командной) информации и т.д. Данные функции управления выполняются на основе телеметрической информации, поступающей от каждого КА орбитальной группировки. Для управления ОГ в различных режимах работы КА используют как штатные каналы связи, так и отдельные территориально разнесенные командно-измерительные станции КИС. Благодаря этому ЦУС позволяет обеспечить с достаточно высокой оперативностью: контроль запуска и точность вывода КА на заданную орбиту, состояния каждого КА, контроль и управление орбитой отдельного КА, КА в нештатных режимах работы, вывод КА из состава ОГ.

Передача информации на КА осуществляется через территориально-разнесенные основные и резервные станции КИС.

Центр запуска КА определяет программу запуска, осуществляет сборку ракеты – носителя, ее проверку, а также установку полезной нагрузки КА и проведение предстартовых проверок и испытаний. После запуска ракеты – носителя производят траекторные измерения на активном участке полета, которые транслируются в ЦУС, где для формирования промежуточной орбиты корректируются расчетные траекторные данные. Последующее управление КА осуществляется ЦУС.

Центр управления связью планирует использование ресурса спутника, координируя эту операцию с ЦУС, осуществляет через национальные ШС анализ и контроль связи, а также управления. В нормальных условиях работы ОГ связь с ШС и пользовательскими терминалами осуществляется автономно. В нештатных ситуациях (в случае вывода отдельного КА из группировки или при выходе из строя элементов ШС) центр переходит в режим поддержания связи с повышенной нагрузкой, а в особых случаях предусматривается также возможность реконфигурирования сети.

Шлюзовая станция (шлюз) состоит из нескольких приемопередающих комплексов (обычно не менее трех), в каждом из которых имеется следящая параболическая антенна. Применение нескольких приемопередающих комплексов позволяет практически без нарушения связи переходить

Диапазоны частот спутниковых систем связи	
Диапазон	Полоса частот, ГГц
L	1,452 – 1,500 1,61 – 1,71
S	1,93 – 2,70
C	3,40 – 5,25 5,725 – 7,075
Ku	10,70 – 12,75 12,75 – 14,80
Ka	14,40 – 26,50 27,00 – 50,20
K	84,00 – 86,00

последовательно от одного КА к другому. Для управления большим потоком информации в состав ШС включены быстродействующие ЭВМ, в которых имеется банк данных персональных терминалов. ШС в своем составе имеют коммутационное оборудование (интерфейсы связи) для соединения с различными системами связи. Основной задачей любой ШС является организация дуплексной телефонной связи, передача факсимильных сообщений, а также данных больших объемов.

Состав пользовательского сегмента определяется номенклатурой предоставляемых СПСС услуг. СПСС предназначены для предоставления следующих видов услуг: связи абонентов, имеющих ПСТ, между собой; дуплексной связи абонентов, имеющих ПСТ, с абонентами ТфОП, пейджинговых и сотовых сетей, а также частных каналов связи, если указанные сети подключены к интерфейсам связи ШС; определение местоположения (координат) абонентов систем спутниковой связи.

Для организации спутниковой связи применяют переносные ПСТ (весом около 200 г) и мобильные терминалы МТ (весом около 2,5 кг). Данные терминалы способны устанавливать связь между абонентами за 2 с, как и в системе сотовой связи. В настоящее время многие фирмы предлагают пользователям следующие типы спутниковых терминалов СТ: портативные терминалы (спутниковый телефон); переносные персональные терминалы; мобильные терминалы для автотранспортных, авиа – и морских средств; малогабаритные пейджинговые терминалы; терминалы для коллективного пользования.

ПСТ подвижной связи работают в диапазонах частот 137 – 900 и 1970 – 2520 МГц, которые почти не отличаются от диапазона частот сотовой связи (450 – 1800) МГц.

Спутниковый телефон представляет собой малогабаритную конструкцию со встроенной антенной, не требующей ориентации на спутник. Весит он около 800г – немного больше, чем обычный сотовый телефон. Он обладает простой системой управления. Набор номера производится с помощью кнопочного поля. Система автоматически находит свободный канал и закрепляет его за абонентом на время разговора. Как правило, в таких телефонах используется временное или частотное уплотнение каналов, хорошо зарекомендовавшее себя в многоканальной сотовой связи.

Существуют спутниковые телефоны, которые дают возможность пользователям сделать выбор между сотовой и спутниковой связью. Сопряжение спутникового телефона с сетями сотовой связи обеспечивает SIM – карта.

11.Спутниковое телевидение

11.1 Принципы построения спутниковых систем связи

Спутники связи обращаются вокруг Земли по орбитам, плоскости которых проходят через центр земного шара. В зависимости от угла между плоскостями орбиты и земного экватора, называемого наклоном i , различают полярные ($i = 90^\circ$), экваториальные ($i = 0^\circ$) и наклонные ($0^\circ < i < 90^\circ$) орбиты спутников.

В системах космической связи широко используются высокие эллиптические орбиты со следующими параметрами: высота апогея $N_a \approx 40\,000$ км, перигея $N_p \approx 500$ км, наклонение $i \approx 63^\circ$. Такая орбита характеризуется периодом обращения спутника вокруг земли, равным 12 ч, поэтому ее апогей всегда находится над одним и тем же меридианом. Это облегчает сопровождение спутника и позволяет на каждом втором его витке организовывать сеансы связи в одно и то же местное время. Большая высота апогея обеспечивает длительное время полета над находящейся под ним территорией и, следовательно, большую продолжительность сеанса связи.

Преимуществами систем связи, в которых используются эллиптические орбиты, является простота и незначительные энергетические затраты на запуск спутника, поэтому он может производиться небольшой ракетой – носителем. Кроме того, эти системы связи могут обслуживать приполярные районы. Однако, во-первых, для обеспечения круглосуточной связи такая система требует использование нескольких спутников – как минимум, трех, - что значительно усложняет управление ею. Во-вторых, для обеспечения непрерывной связи передающие и приемные антенны наземных станций должны быть все время направлены на КА. Для этого используются специальные устройства наведения и сопровождения, обеспечивающие поворот антенны одновременно с перемещением спутника.

Значительные преимущества предоставляет использование КА, расположенного на геостационарной орбите, находящейся в плоскости экватора и имеющей нулевое наклонение круговой орбиты с радиусом 35 785 км. Такой спутник совершает один оборот вокруг Земли точно за одни сутки. Если направление его движения совпадает с направлением движения Земли, то с поверхности Земли он кажется неподвижным. Антенны станций, работающих с геостационарным спутником, не требуют сложных систем наведения и сопровождения. Благодаря этому почти все спутники связи, предназначенные для коммерческого использования, находятся на геостационарной орбите. Примерно на одной позиции на одной географической долготе могут находиться несколько КА, расположенных на расстоянии около 100 км друг от друга.

Спутниковая линия связи с ретранслятором на геостационарной орбите имеет ряд серьезных преимуществ:

- осуществление непрерывной круглосуточной связи;

- отсутствие устройства сопровождения КА в антенной системе наземного комплекса;
- высокая стабильность уровня сигнала в радиоканале;
- отсутствие эффекта Доплера;
- простота организации связи.

Недостатками такой линии является перенасыщенность геостационарной орбиты, а также невозможность обслуживания приполярных областей – на широте 75° прием затруднителен, а выше 80° - почти невозможен. Однако в широтном поясе от 80° ю.ш. до 80° с.ш. проживает практически все население Земли. Поэтому использование ретранслятора, находящегося на геостационарной орбите, целесообразно для телевизионного вещания.

11.2 Спутниковое телевизионное вещание

Спутниковое телевизионное вещание – это передача через космический спутник – ретранслятор телевизионного изображения и звукового сопровождения от наземных станций к приемным. В сочетании с кабельными сетями ретрансляция через спутник является основным средством обеспечения многопрограммного высококачественного телевизионного вещания.

В зависимости от организации спутниковое телевизионное вещание может осуществляться двумя способами:

- фиксированной спутниковой службой ФСС. В этом случае передаваемые через КА телевизионные сигналы воспринимаются с высоким качеством наземными станциями. С этих станций через наземные ретрансляторы телевизионный сигнал доставляется индивидуальным потребителям.
- Радиовещательной спутниковой службой РВСС. В этом случае ретранслируемые КА телевизионные сигналы принимаются непосредственно населением через индивидуальный и коллективный прием (с помощью кабельной сети).

Система спутникового телевизионного вещания включает следующие подсистемы:

- передающий телевизионный центр;
- активный спутник – ретранслятор;
- приемное оборудование.

Современные технические средства позволяют сконцентрировать практически всю энергию передатчика КА на ограниченной территории, например, на территории одного государства.

Часть территории, которую необходимо охватить вещанием при заданном уровне сигнала, называют зоной обслуживания. Ее вид и размеры зависят от диаграммы направленности передающей антенны спутника-ретранслятора.

В спутниковом телевидении уровень излучаемого с космического аппарата сигнала принято характеризовать произведением мощности (в ваттах)

подводимого к антенне сигнала на коэффициент ее усиления (в децибелах) относительно изотропного (всенаправленного) излучателя. Эту характеристику называют эквивалентной изотропно – излучаемой мощностью (ЭИИМ) и измеряют в децибелах на ватт. Уровень сигнала в точке приема определяется плотностью потока мощности у поверхности Земли относительно потока мощности 1 Вт, проходящего через 1 м (дБ Вт/м).

В 1977 г проходила Всемирная административная радиоконференция по планированию радиовещательной спутниковой службы, на которой был принят Регламент радиосвязи. В нем указаны полосы частот метрового и дециметрового диапазонов, в которых должны работать радиопередающие средства телевизионного вещания. Для систем спутникового вещания выделены полосы частот, представленные в таблице.

Два последних диапазона Ка и К почти не используются и пока

Наименование диапазона	Полоса частот ГГц
L-диапазон	1.452 – 1.550 1.61 – 1.71
S-диапазон	1.93 – 2.70
C-диапазон	3.40 – 5.25 5.725 – 7.075
X-диапазон	7.25 – 8.40
Ku-диапазон	10.70 – 12.75 12.75 – 14.80
Ka-диапазон	15.4 – 26.5 27.0 – 50.2
K-диапазон	84 -86

считаются экспериментальными. Однако, вещание спутниковых телепрограмм в этих диапазонах позволит значительно уменьшить диаметр приемных антенн. Кроме того, информационная емкость, т.е. количество телевизионных каналов, которые можно разместить, этих диапазонов значительно выше.

Основная проблема их освоения – экономическая, а именно проблема создания недорогих массовых индивидуальных приемников.

Сформулированные в Регламенте радиосвязи основные положения, касающиеся систем непосредственного спутникового телевизионного вещания, сводятся к следующему:

- В системах СНТВ используются спутники – ретрансляторы, расположенные на геостационарной орбите;
- Для радиолиний Земля – Космос и Космос – Земля выделена фиксированная полоса частот;
- Рекомендуются передача частотно-модулированного сигнала с предискажениями;
- Величина отношения сигнал/шум не должна быть меньше 14 дБ.
- Плотность потока мощности в зоне обслуживания не должна превышать – 103 дБВт/м для индивидуального приема и – 111 дБВт/м для коллективного приема.
- Для увеличения объема передаваемой информации рекомендуется двукратное использование рабочих частот, что возможно благодаря развязке по поляризации.

- Приемную установку ТВ необходимо характеризовать коэффициентом добротности, который определяется как отношение коэффициента усиления антенны к суммарной шумовой температуре станции G/T.

11.3 Методы формирования и передачи спутниковых телевизионных сигналов

Аналоговый метод

Телевизионный сигнал, форма которого повторяет распределение яркости на пути развертки изображения, называется электрическим аналогом изображения или телевизионным аналоговым сигналом.

Наземное телевизионное вещание осуществляется при помощи амплитудной модуляции АМ с частичным подавлением одной боковой полосы. Было бы очень удобно использовать этот же метод передачи и в системах СНТВ, поскольку представилась бы возможность непосредственно принимать сигналы со спутника на обычные телевизоры, не оснащенные дополнительными устройствами. Однако это невозможно из-за того, что мощность бортового передатчика при АМ должна быть недостижимо большой – единицы и десятки кВт. Кроме того, создавались бы большие помехи наземным службам радиосвязи.

В системах СНТВ для передачи телевизионных сигналов используется частотная модуляция ЧМ. ЧМ отличается от других помехоустойчивых видов модуляции тем, что при сравнительно простых технических средствах приема реальная помехоустойчивость незначительно отличается от теоретической.

Телевизионный сигнал характеризует совокупность его параметров: число строк, частота кадров, длительность и форма синхронизирующих импульсов, полярность сигнала, разнос между несущими частотами изображения и звукового сопровождения, метод кодирования сигналов цветности совместно с сигналом яркости. Совокупность значений этих параметров составляет стандарт телевизионного сигнала. В настоящее время используются три системы цветного телевидения, различающиеся способом кодирования сигналов цветности: SECAM, NTSC и PAL.

Система SECAM – последовательная. Ее отличительным признаком является поочередная передача через строку двух цветоразностных сигналов на ЧМ поднесущей при непрерывной передаче сигнала яркости. Последовательная передача частотно-модулированных цветоразностных сигналов практически сводит на нет фазовые искажения, присущие системе NTSC, а также перекрестные искажения цветового тона. К недостаткам системы SECAM следует отнести то, что четкость цветов снижена вдвое, т.к. сигналы цветности передаются через строку, поэтому в телевизионном приемнике недостающий сигнал берется из предыдущей строки.

Система NTSC – одновременная, с квадратурной модуляцией цветовой поднесущей. Ее особенностью является то, что оба цветоразностных сигнала

передаются одновременно в каждой строке развертки, причем без расширения полосы частот, занимаемой сигналом цветности в спектре ТВ сигнала. Это достигается применением квадратурной модуляции, при которой результирующий цветовой сигнал модулируется по амплитуде и манипулируется по фазе. Амплитуда сигнала характеризует насыщенность цвета, а фаза – цветовой фон. NTSC обеспечивает высокую четкость изображения, но обладает большой чувствительностью к фазовым искажениям, что приводит к зависимости цветового тона от амплитуды сигнала яркости. Система NTSC обеспечивает самое высокое качество цветного изображения, но требует высокого технического совершенства приемопередающей аппаратуры.

Система PAL – одновременная, с квадратурной модуляцией цветовой поднесущей. Ее основное отличие от NTSC – изменение от строки к строке на 180° фазы цветоразностных сигналов. В ней фазовые искажения отсутствуют, поэтому не нарушается цветовой тон; достигается удвоение амплитуды вследствие разделения сигналов цветности; уменьшаются перекрестные искажения между сигналами яркости и цветности. Недостатком системы является снижение четкости изображения из-за усреднения сигнала цветности в двух соседних строках.

Все перечисленные системы были разработаны для наземных телевизионных комплексов, использующих АМ несущей изображения. Т.к. в спутниковых каналах используется ЧМ, то непосредственное применение SECAM, NTSC, PAL становится затруднительным. Это связано с тем, что, во-первых, при прохождении ЧМ сигнала через тракты с неравной амплитудной и нелинейной фазовой характеристикой возникают перекрестные искажения сигналов яркости и цветности, значительно ухудшающие качество изображения. Во-вторых, при передаче ЧМ телевизионных сигналов необходимо учитывать, что энергетический спектр шумов на выходе частотного детектора имеет квадратичную зависимость от частоты. Поэтому у широкополосных телевизионных сигналов высокочастотные составляющие оказываются зашумленными более сильно, чем низкочастотные. Особенно неблагоприятно это сказывается на цветном ТВ сигнале, у которого цветные поднесущие имеют большую частоту, чем несущая.

В связи с вышеперечисленным, для того, чтобы осуществлять спутниковую трансляцию аналоговых сигналов, были созданы разнообразные методы повышения качества изображения.

Для уменьшения перекрестных искажений и обеспечения одинаковой помехоустойчивости ТВ сигнала на всех частотах его спектра на передаче вводят линейные предискажения, увеличивающие амплитуду высокочастотных составляющих, а в приемном устройстве восстанавливают исходный спектр сигнала. В результате обеспечивается безыскаженная передача и одинаковое отношение сигнал/помеха для всех спектральных составляющих.

Одновременно с этим в спутниковых каналах применяют нелинейную обработку, которая заключается в ограничении размаха предискаженного сигнала за счет отсечения узких выбросов, соответствующих крутым фронтам исходного сигнала. Ограничению подвергают только наиболее значительные

выбросы. В результате средний уровень сигнала и, соответственно, эффективная девиация частоты возрастают, что вызывает увеличение мощности полезного сигнала на выходе частотного демодулятора и возрастание помехоустойчивости.

Аналоговый способ передачи телевизионного сигнала по спутниковым каналам является хотя и устаревшим, но все еще наиболее распространенным. В настоящее время происходит переход от аналогового вещания к цифровому. Промежуточным звеном является система уплотнения аналоговых компонент, называемая МАС (Multiplexed Analogue Components).

Цифро-аналоговый метод

Цифро-аналоговая система МАС является компромиссом между аналоговым и цифровым методами передачи телевизионного сигнала по спутниковым каналам. Она позволяет получить улучшенное по сравнению с PAL, SECAM и NTSC изображение.

Предложено несколько модификаций этой системы: А-МАС, В-МАС, С-МАС, D-МАС, D2-МАС – для телевидения повышенного качества (ТПК); HD-МАС и HD В-МАС – для телевидения высокой четкости (ТВЧ). Основные их различия заключаются в способе модуляции, количестве программ звукового сопровождения и цифровых данных, а также в значении частоты полей (50 или 60 Гц). Эти системы обеспечивают следующие улучшенные характеристики ТВ-вещания:

- отсутствие перекрестных искажений сигналов яркости и цветности;
- значительное снижение шумов в канале цветности, достигнутое благодаря его переводу в область низких частот;
- передачу сигналов звукового сопровождения, синхронизации, телетекста и другой служебной и дополнительной информации в цифровой форме;
- повышение разрешающей способности изображения за счет большей ширины полосы частот сигналов яркости и цветности.

Во всех ныне используемых вариантах системы МАС используют временное разделение аналоговых составляющих яркости и цветности. При этом спектр исходного сигнала ужимается пропорционально выбранным коэффициентам компрессии. В связи с этим важнейшим параметром этой системы является коэффициент сжатия спектров составляющих цветного ТВ изображения.

Все перечисленные выше преимущества сигналов с временным разделением аналоговых компонент послужили основанием для разработки на их основе систем, предназначенных для непосредственного спутникового вещания. В таких системах по одному спутниковому каналу связи передается следующая группа сигналов: аналоговые сигналы яркости и цветности; цифровые сигналы звукового сопровождения, синхронизации, служебных данных, телетекста и т.д.

Рассмотрим принцип работы цифроаналогового метода на примере стандартов D-МАС и D2-МАС. Эти стандарты были предложены Францией и Германией, как версии, допускающие передачу сигналов как по спутниковым,

так и по наземным каналам связи с шириной полосы пропускания не менее 5 МГц. В настоящее время система D2-MAC одобрена Европейским радиовещательным союзом в качестве стандарта для непосредственного спутникового вещания, позволяющего распространять свои сигналы наземными системами связи с АМ и частично подавленной одной боковой полосой.

В системе D2-MAC аналоговые сигналы яркости и цветности передаются в течение активной части строки в сжатом во времени виде, а цифровая часть сигнала, соответствующая звуку, синхронизации, телетексту и другим данным, объединена в пакеты, передаваемые в течение обратного хода по строке и по кадру, причем скорость передачи цифрового потока снижена в 2 раза. Структура строки сигнала, закодированного по системе D2-MAC, приведена на рис.11.1.



Рис.11.1. Структура строки

Начальный интервал активной части строки (около 17,2 мкс) занимает сжатая по времени в три раза цветовая компонента U или V, соответствующая цветоразностному сигналу ER-Y или EB-Y, причем каждая составляющая передается поочередно через строку. Следующий промежуток (около 34,4 мкс) отводится яркостной составляющей видеосигнала, сжатой по времени в 3/2 раза при кодировании, и, наконец, обратный ход (порядка 10 мкс) принадлежит цифровой информации, передаваемой с тактовой частотой 20,25 МГц в дуобинарном коде. Дуобинарное кодирование в два раза уменьшает требуемую ширину полосы для данной скорости передачи благодаря использованию трехуровневого сигнала на приеме вместо бинарного. Скорость передачи данных в системе D2-MAC – 10,125 Мбит/с, а в D-MAC – 20,250 Мбит/с.

Между видеосигналом и цифровыми данными передается аналоговый импульс фиксации длительностью около 0,7 мкс с уровнем, составляющим половину размаха яркостного и цветоразностного сигналов. Изображение может передаваться в обычном формате с соотношением сторон кадра 4:3 или в расширенном формате 16:9. Поскольку формирование как цифровой, так и аналоговой части сигнала при кодировании осуществляется цифровым способом, полная строка сигнала D2-MAC соответствует 1296 периодам тактовой частоты 20,25 МГц. Из них:

- 696 периодов отводится на яркость,
- 348 периодов – на цветность,
- 208 периодов занимают 105 бит цифровой части,
- 15 периодов отводится на аналоговый опорный сигнал для фиксации уровня,
- оставшиеся периоды занимают переходы между компонентами.

Строчная синхронизация осуществляется с помощью 6 бит цифровой информации, передаваемой в начале каждой строки в виде определенного кодового слова или его инверсии (в зависимости от номера строки), а кадровая – с помощью слова 64 бита кадровой синхронизации, размещенного в 625-й строке.

11.4 Цифровое телевидение

При переходе к цифровой форме представления и передачи телевизионных сигналов операции обработки, записи и передачи сигнала производятся в цифровом виде. Все цифровые сигналы обрабатываются по единой технологии. Повышается стабильность параметров оборудования, которое работает в бесподстроечном режиме. Тем самым обеспечивается значительное повышение качества телевизионного изображения, особенно при цифровой видеозаписи с применением электронного монтажа. Качество цифровой видеозаписи чрезвычайно важно для создания фондовых и архивных материалов, а также для длительного хранения. Внедрение единого стандарта цифровой видеозаписи значительно расширяет номенклатуру спецэффектов. Это и селективная обработка участков кадра, и электронный монтаж из фрагментов нескольких кадров, замена объектов в кадре, геометрические преобразования изображений и т.п. значительно расширяет возможности оператора при монтаже телепрограмм.

Цифровая техника открывает совершенно новые возможности в художественном оформлении телевизионных программ. Т.о., внедрение цифровых методов существенно обогащает технологию телевизионного вещания, делает ее исключительно гибкой и высокопроизводительной. Повышается качество передачи сигналов телевизионных программ по линиям связи благодаря значительному ослаблению эффекта накопления искажений и применению кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки передачи.

Можно выделить ряд общих принципов построения систем и устройств цифрового телевидения и охарактеризовать основные процессы, происходящие в тракте, обобщенная структурная схема которого приведена на рис.11.2.

На вход тракта цифрового телевидения поступает аналоговый телевизионный сигнал. В кодирующем устройстве телевизионный сигнал преобразуется в цифровую форму и поступает на передающее устройство, которое состоит, в общем случае, из кодера канала и устройства преобразования сигнала. Пройдя через канал связи, цифровой сигнал поступает в приемник, состоящий из устройства обратного преобразования сигнала в аналоговый. Кодер и декодер канала обеспечивает защиту от ошибок в канале

связи. В устройствах преобразования характеристики цифрового сигнала согласуются с характеристиками канала связи.

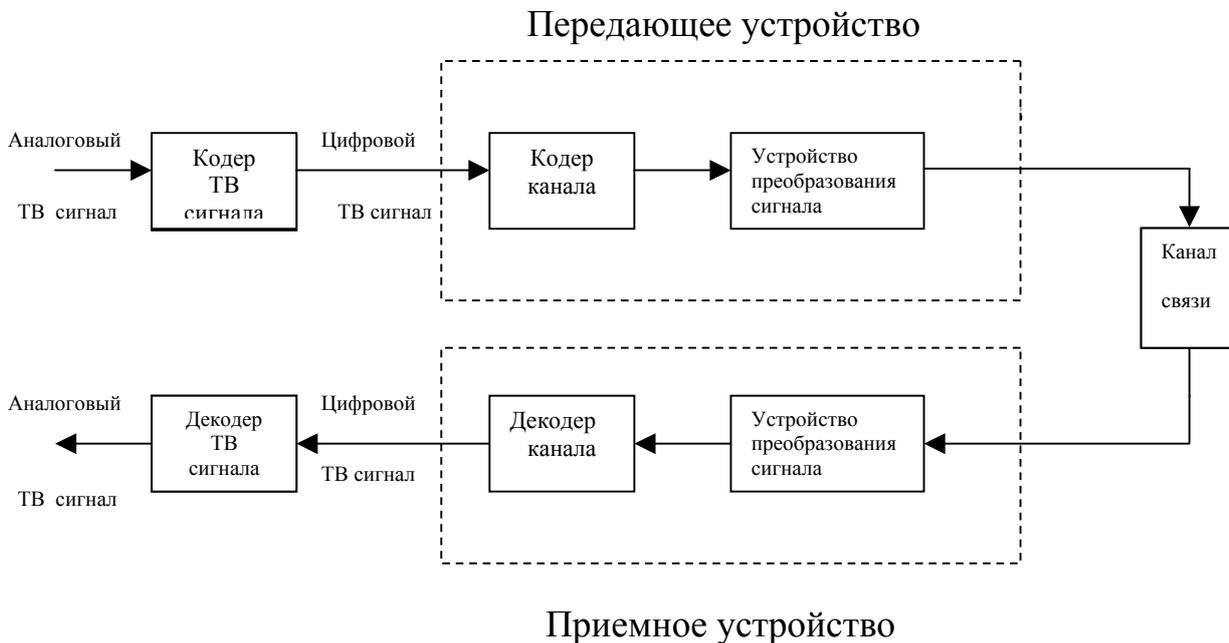


Рис.11.2. Обобщенная структурная схема тракта ЦТВ

Непрерывный аналоговый телевизионный сигнал несет информацию об отдельных элементах изображения и может принимать любое значение. В цифровом телевизионном сигнале каждому элементу изображения соответствует группа импульсов, принимающих только два значения – «0» или «1». Отсюда следует, что главным преимуществом цифровой формы представления – высокая защищенность от искажений и шумов. Это обусловлено тем, что на приемной стороне обнаруживается только факт передачи импульса в заданный момент времени не зависимо от его формы. Решить такую задачу легче, чем обеспечить неискаженную передачу формы аналогового сигнала.

Главным недостатком цифрового телевидения является необходимость значительно более широкой полосы пропускания канала связи по сравнению с аналоговым. Это объясняется тем, что скорость передачи цифрового сигнала, измеряемая числом двоичных символов в секунду (бит/с), довольно велика. Для обеспечения высокого качества цифрового кодирования телевизионного сигнала при $f_{гр} = 6$ МГц необходимо передавать более 12 млн отсчетов в секунду, а каждый отсчет передается с помощью 8 импульсов, т.е. по каналу передается ~ 100 млн символов в сек (100 Мбит/с). Следовательно, требуется ширина полосы канала ~ 100 МГц.

В аппаратно-студийных комплексах АСК предусматривается раздельное кодирование сигналов яркости и цветности. Исходя из того, что для получения телевизионных изображений высокого качества нужно иметь полосу частот сигнала яркости ~ 6 МГц, частота дискретизации должна незначительно

превышать 12 МГц, а ее номинальное значение должно выбираться с учетом необходимости получения ортогональной структуры отсчетов на телевизионном изображении, т.е. частота дискретизации должна быть кратна частоте строк. С другой стороны она должна быть, по возможности, низкой, чтобы не увеличивать скорость передачи.

Наименьшее кратное частоте $f_{стр}(625) = 15625$ Гц и $f_{стр}(525) = 15734$ Гц соответствует значению частоты 2,25 МГц. Поэтому для дискретизации сигналов яркости подходят частоты 11,25; 13,5 и 15,75 МГц, кратные 2,25 МГц (множители 5, 6 и 7). Из них выбрана частота дискретизации 13,5 МГц.

Для обеспечения высокого качества изображения частота дискретизации цветоразностных сигналов должна составлять 6-7 МГц. С учетом необходимости образования общего цифрового потока выбранная частота дискретизации цветоразностных сигналов равна половине частоты дискретизации сигнала яркости, т.е. 6,75 МГц. Этот стандарт цифрового кодирования условно обозначается соотношением 4:2:2, что отражает соотношение частот дискретизации сигнала яркости и двух цветоразностных сигналов.

Суммарная скорость цифрового потока при стандарте кодирования 4:2:2, получаемая путем объединения потоков сигнала яркости ($13,5 \times 8 = 108$ Мбит/с) и двух цветоразностных сигналов R – Y и B – Y ($6,75 \times 8 \times 2 = 108$ Мбит/с), равна 216 Мбит/с. Для получения еще более высокого качества изображения необходим стандарт с использованием широкополосных сигналов основных цветов R, G, B (или сигнала яркости и двух цветоразностных сигналов) с частотой дискретизации не ниже 13,5 МГц для каждого из них (условное обозначение 4:4:4). Скорость цифрового потока при этом составит $13,5 \times 8 \times 3 = 324$ Мбит/с. Таким образом, создается иерархия (семейство) совместимых стандартов цифрового кодирования, обеспечивающих три основных уровня качества:

- высшее – на выходе студийных камер до кодирующего устройства (4:4:4);
- промежуточное – после кодирующего устройства (4:2:2);
- низшее – на выходе видеоманитрофонов (2:1:1).

Требование совместимости решается простым переходом от одного стандарта к другому. Например, переход от 4:4:4 к 4:2:2 получается простым отбрасыванием каждого второго отсчета цветоразностных сигналов. Аналогично переход от 4:2:2 к 4:4:4 заключается в восстановлении недостающих отсчетов цветоразностных сигналов и т.п.

Как при непосредственном, так и при отдельном кодировании полного телевизионного сигнала цифровые сигналы получаются чрезвычайно широкополосными и передавать их по существующим линиям связи практически невозможно. Поэтому центральной проблемой в цифровом телевидении является уменьшение в несколько раз требуемой скорости передачи сигналов. Она решается путем устранения имеющейся в телевизионном сигнале избыточности и применения эффективных методов модуляции. Различают статистическую, визуальную (физиологическую) и структурную избыточность телевизионного сигнала.

Статистическая избыточность вызвана корреляционными связями и предсказуемостью между элементами сигнала в одной строке, в смежных строках и соседних кадрах. Эта избыточность может быть устранена без потери информации, а исходные данные могут быть полностью восстановлены.

Визуальная избыточность заключается в той части информации, которая не воспринимается глазом человека. Например, цветовая разрешающая способность зрения в 4 раза ниже, чем яркостная. Ее можно устранить с частичной потерей данных, мало влияющих на качество изображения.

Структурная избыточность определяется законом разложения телевизионного изображения и связана со способом передачи телевизионного сигнала. Например, передаются постоянные по форме сигналы гашения, которые нет необходимости передавать в цифровом потоке. Устранение этих сигналов позволяет уменьшить объем цифрового потока ~ на 23%.

Для борьбы с помехами, приводящими к неверному распознаванию символов цифрового сигнала (к ошибкам передачи) в состав тракта цифрового телевидения включается кодер канала – устройство защиты от ошибок. При этом для передачи по каналу используется помехоустойчивое кодирование, которое требует введения в цифровой сигнал избыточных символов. Современные методы помехоустойчивого кодирования позволяют при введении малого числа избыточных символов значительно уменьшить вероятность ошибочного приема символа.

Цифровой телевизионный сигнал с уменьшенной избыточностью должен передаваться с высокой достоверностью. Защита его от искажений актуальна как в условиях телецентра, так и на линиях связи. Коррекция ошибок заключается в восстановлении поврежденной информации цифровыми методами, а маскирование ошибок – в замене поврежденной информации предыдущими или проинтерполированными данными.

Таким образом, основные преимущества перехода к цифровой форме представления и передачи телевизионных сигналов заключаются в следующем:

- возможность большого числа обработок сигнала с сохранением высокого качества изображения;
- высокое качество передачи телевизионных сигналов по цифровым линиям связи большой протяженности;
- возможность просмотра ТВ программ любого существующего стандарта;
- высокое качество записи и воспроизведения изображения;
- высокая стабильность тракта, возможность длительной бесподстроечной работы.

Самой главной проблемой, которая мешала внедрению цифрового способа передачи, является очень большой объем информации, который необходимо обрабатывать в режиме реального времени. Для этого необходима очень высокая скорость передачи и широкая полоса частот канала связи. Поэтому нужно стремиться к уменьшению скорости передачи до приемлемого значения без ущерба качеству изображения с помощью устранения избыточности, т.е. сжатия передаваемой информации. Современные методы сжатия телевизионного сигнала позволяют избавиться от избыточности с помощью

межкадрового и внутрикадрового кодирования. Окончательный результат сжатия зависит как от степени избыточности оригинала, так и от характеристик аппаратуры, используемой для кодирования. На практике необходимо найти разумный компромисс между результатом кодирования, т.е. сжатием с достаточным качеством, и аппаратной сложностью реализации.

11.5 Стандарт MPEG

Результатом многолетних исследований в области цифрового кодирования сигналов изображения и звукового сопровождения явилось создание международных стандартов для сжатия телевизионных сигнала: MPEG-1, MPEG-2 и MPEG-4, которые в настоящее время наиболее перспективны и реализованы на практике. (Motion Pictures Expert Group).

Стандарт MPEG-1 (1992 г) предназначен для записи видеоданных на компакт-диски (CD-ROM) и передачи ТВ изображений по сравнительно низкоскоростным каналам связи (скорость цифрового потока до 1-3 Мбит/с). В нем используется стандарт развертки с четкостью в 4 раза меньшей, чем в вещательном телевидении: 288 строк в ТВ кадре и 352 отсчета в активной части строки.

Работы над стандартом MPEG-2 начались в 1990 году. Разработанный специально для кодирования сигналов вещательного телевидения, он позволяет получить высокую четкость ТВ изображения: 576 активных строк в кадре и 720 отсчетов в активной части строки. Стандарт предназначен для каналов связи, обеспечивающих скорость передачи 3-10 Мбит/с для обычного телевизионного стандарта и 15-30 Мбит/с для телевидения высокой четкости ТВЧ.

Следующий этап развития стандарта MPEG – MPEG-4, работа над которым началась в 1993 г. Стандарт предназначен для передачи видеоданных в низкоскоростных системах мультимедиа и видеоконференций по цифровым телефонным каналам. В этом случае используется стандарт развертки с четкостью в 4 раза меньшей, чем в MPEG-1: 144 активных строки в кадре и 176 отсчетов в активной части строки, что позволяет снизить скорость цифрового потока до 64 кбит/с. Стандарт не предназначен для кодирования программ вещательного телевидения.

Общие положения . Стандарт MPEG-2 состоит из трех основных частей: системной, видео и звуковой.

Системная часть описывает форматы кодирования для мультиплексирования звуковой, видео- и другой информации, рассматривает вопросы комбинирования одного или более потоков данных в один или множество потоков, пригодных для хранения и передачи. Системное кодирование обеспечивает необходимую и достаточную информацию, чтобы синхронизировать декодирование без переполнения или недополнения буферов памяти декодера при различных условиях приема или восстановления потоков. Таким образом, системный уровень выполняет пять основных функций:

- синхронизация нескольких сжатых потоков при воспроизведении;

- объединение нескольких сжатых потоков в единый поток;
- инициализация для начала воспроизведения;
- обслуживание буфера;
- определение временной шкалы.

Видеочасть стандарта описывает кодированный битовый поток для высококачественного цифрового видео. MPEG-2 является совместимым расширением MPEG-1, он поддерживает чересстрочный видеоформат и содержит средства для поддержки ТВЧ.

Звуковая часть стандарта определяет кодирование многоканального звука. MPEG-2 поддерживает до пяти полных широкополосных каналов плюс дополнительный нч канал и (или) до семи многоязычных комментаторских каналов.

Большие преимущества MPEG-2 дает в системах спутникового телевизионного вещания. Сжатие позволяет передать по одному стандартному каналу от одного до пяти цифровых каналов при профессиональном уровне качества видеосигнала. Пропускная способность стандартного спутникового канала при полосе 32 МГц составляет 55 Мбит/с. Для вещания с профессиональным качеством необходима скорость цифрового потока 5-8 Мбит/с. Отсюда имеем 4-5 программ.

Сжатие видеосигнала

Стандарт MPEG-2 не регламентирует методы сжатия видеосигнала, а только определяет, как должен выглядеть битовый поток кодированного видеосигнала, поэтому конкретные алгоритмы являются коммерческой тайной фирм-производителей оборудования. Однако существуют общие принципы, в соответствии с которыми процесс сжатия видеосигнала может быть разбит на ряд последовательных операций: преобразование аналогового сигнала в цифровую форму, предварительная обработка, дискретное косинусное преобразование, квантование, кодирование.

После аналого-цифрового преобразования АЦП производится предварительная обработка сигнала, которая включает в себя следующие преобразования:

1. Удаление избыточной информации. Например, если фон изображения состоит из идентичных символов (пикселей), то совершенно не обязательно их все передавать. Достаточно описать один пиксел и послать его с сообщением о том, как часто и где он повторяется в изображении.
2. Если исходное изображение передается в виде чересстрочных полей, то они преобразуются в кадры с прогрессивной разверткой.
3. Сигналы цветности RGB преобразуются в цветоразностные сигналы U и V и сигнал яркости Y.
4. Изображение дестраивается до кратного 16 количества пикселей по строкам и столбцам, чтобы обеспечить разбиение изображения на целое число макроблоков.

5. Производится преобразование из формата цветности 4:4:4 в формат 4:2:2 (горизонтальная передискретизация цветоразностных компонентов) или 4:2:0 (горизонтальная и вертикальная передискретизация цветоразностных компонентов).
6. Изображение разбивается на последовательность макроблоков, каждый из которых состоит из шести блоков 8×8 пикселей: четыре образуют матрицу 16×16 и несут информацию о яркости, по два – определяют цветоразностные компоненты U и V, которые соответствуют области изображения, покрываемой матрицей 16×16 пикселей.

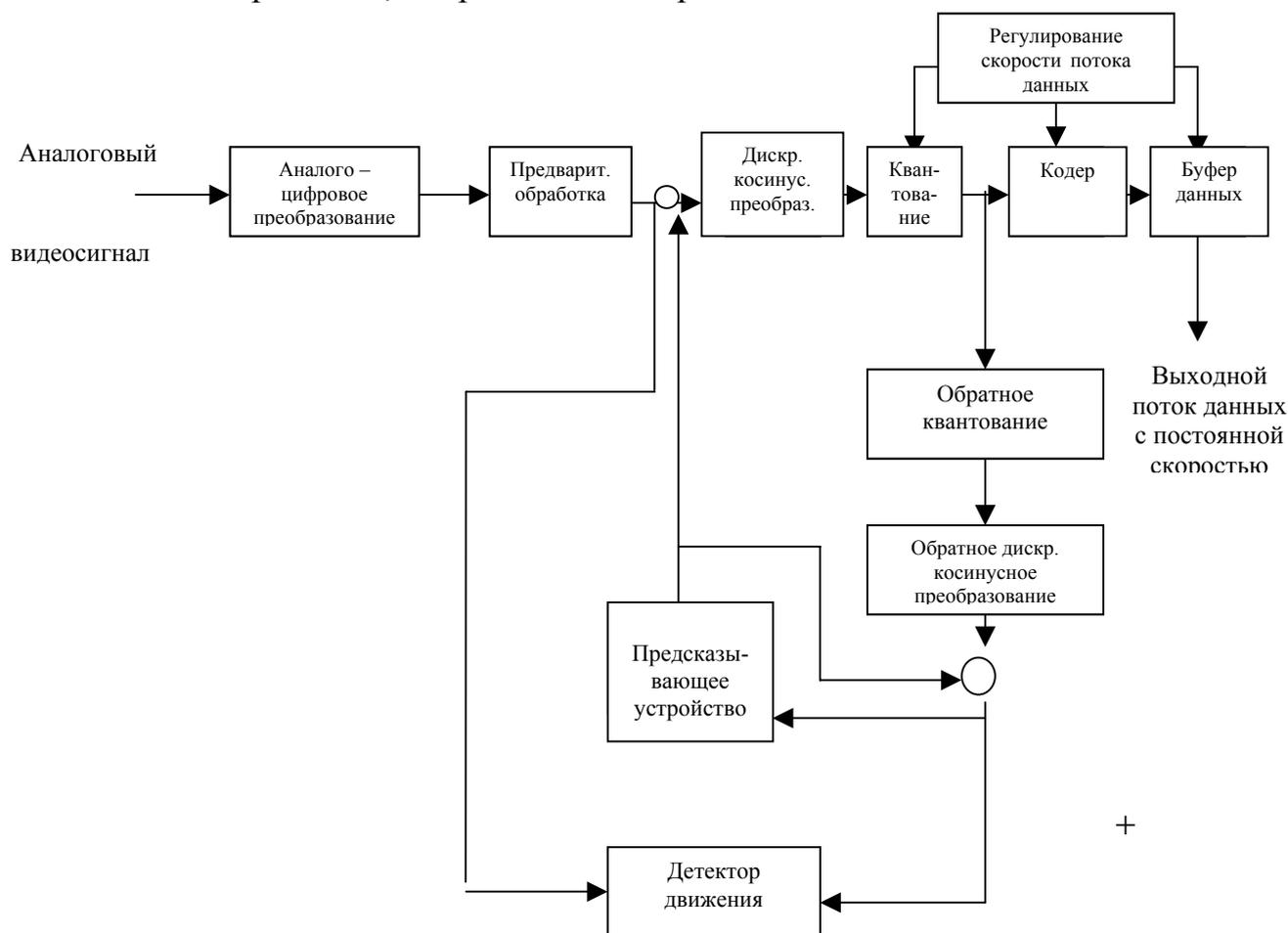


Рис.11.3. Обобщенное представление метода сжатия телевизионного сигнала в стандарте MPEG - 2

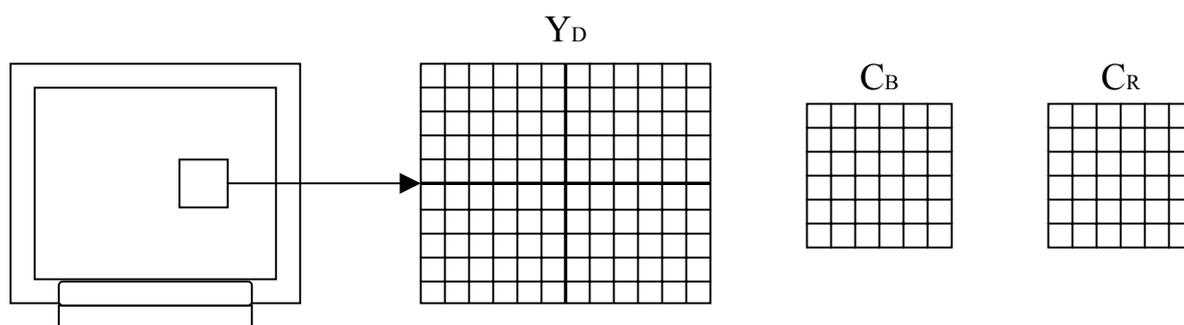


Рис.11.4. Разбивка изображения на блоки

Следующие друг за другом макроблоки объединяют в независимые друг от друга серии (Slice). Серия является основным элементом синхронизации для восстановления данных, составляющих изображение, и обычно состоит из всех блоков в горизонтальном направлении изображения с интервалом 16 строк, т.е. имеет толщину в один макроблок. Порядок макроблоков в серии тот же, что и при обычном сканировании раstra в телевидении: слева направо и сверху вниз. Представление информации сериями удобно для коррекции ошибок. Когда появляется ошибка в потоке данных, декодер может обратиться к началу следующей серии.

7. Производится разбиение потока кадров изображения по типам, для них находятся векторы движения, которые необходимы для повышения предсказуемости величин элементов изображения. Векторы движения обеспечивают компенсацию перемещений в прошедших и последующих кадрах. Компенсация движения применяется при предсказании текущего кадра на основе предыдущих и интерполяционного предсказания на основе прошедших и последующих изображений. Векторы движения определяются для каждой зоны изображения с размерами 16×16 пикселей, т.е. для макроблоков.

В большинстве случаев видеопоследовательности содержат избыточность в двух направлениях – временном и пространственном. Главное статистическое свойство, на котором основана аппаратура сжатия, – межэлементная коррекция, включающая предположение о коррелированности последовательных кадров видеоданных. Т.е. значения отдельных пикселей изображения могут быть предсказаны либо по значениям ближайших пикселей внутри одного кадра (аппаратура внутрикадрового кодирования), либо по значениям пикселей, расположенных в ближайших кадрах (аппаратура межкадрового кодирования с компенсацией перемещений). В некоторых случаях, например, при смене видеосцены (сюжета) временная корреляция между ближайшими кадрами очень низка. Тогда решающую роль в достижении эффективного сжатия играет внутрикадровая, т.е. пространственная корреляция пикселей изображения. Если же корреляция между последовательными кадрами видеоданных высока, желательно применение межкадровой корреляции пикселей с временным предсказанием. На практике для достижения высокого коэффициента сжатия используется комбинация из этих двух вариантов.

Стандарт MPEG – 2 определяет три типа кадров, для каждого из которых предусмотрен свой вид кодирования:

- опорные, так называемые I – кадры (Intra Frames), которые являются основными и кодируются без обращения к другим кадрам. Вид кодирования – внутрикадровый, обеспечивающий умеренное сжатие. Все остальные

кадры анализируются процессором, сравнивающим их с опорными, а также между собой.

- P – кадры (Predicated) – закодированные относительно предыдущих I - или P - кадров. Кодирование P – кадров выполняется с использованием алгоритмов компенсации движения и предсказанием «вперед» по предшествующим I - и P – кадрам. Они сжаты в три раза сильнее, чем I – кадры, и служат опорными для последующих P – и B – кадров.
- B – кадры (Bidirectionally Predicated) – закодированные относительно предыдущих и последующих кадров, т.е. с двунаправленным предсказанием и компенсацией движения. B – кадры имеют наибольшее сжатие.

Полученные кадры объединяются в группы последовательных кадров. Каждая последовательность начинается с I – кадра и состоит из переменного числа P – и B – кадров. Поскольку типичная длительность группы кадров (~0.5 с) значительно меньше характерного расстояния во времени между границами сюжетов, то в большинстве случаев жесткое задание структуры группы кадров не приводит к существенным визуальным ошибкам из-за того, что смена сюжета попадает внутрь группы кадров.

8. Для блоков с использованием компенсации движения определяют разностные ошибки предсказания движения. После предварительной обработки разностные ошибки предсказания или сами макроблоки подвергаются дискретному косинусному преобразованию ДКП, в результате которого исходная матрица блоков преобразуется в матрицу частотных коэффициентов

Каждый коэффициент характеризует амплитуду определенной частотной составляющей кадра, причем коэффициенты в матрице располагаются по возрастанию частот в вертикальном и горизонтальном направлениях. Другими словами, ДКП матрицу можно трактовать как двумерный частотный спектр кадра изображения. При этом основная энергия концентрируется около нулевых частот. Амплитуда менее значимых высокочастотных составляющих, как правило, мала или равна нулю, поэтому их потеря почти не сказывается на качестве изображения. Коэффициенты, не превышающие некоторого порогового значения, не передаются, что и приводит к желаемой компрессии.

После ДКП коэффициенты могут принять не целые значения, а на вход кадра необходимо подавать дискретную последовательность. Она получается при квантовании коэффициентов и расстановке их в ряд для подачи на кафмановский кодер. Квантование полученной после ДКП матрицы производится с учетом чувствительности глаза к различным пространственным частотам, причем при передаче более высокочастотных компонентов возможна большая погрешность.

Формирование последовательности для подачи на кодер осуществляется при помощи Z – упорядочивания. В этом случае коэффициенты выстраиваются в порядке возрастания частот, причем, если пространственные частоты одинаковы, то впереди следуют коэффициенты их количества. Пример преобразования стандартной матрицы 8×8 пикселей приведен на рис.11.5.

Литература

1. Зингеренко А.М., Баева Н.Н., Тверецкий М.С. Системы многоканальной связи. М. Связь, 1980.
2. Левин Л.С., Плоткин М.А. Цифровые системы передачи информации. М. Радио и связь, 1982.
3. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. М. Эко-трендз, 1998.
4. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. М. Радио и связь, 2000.
5. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фиретова Т.В. Сети подвижной связи. М. Эко-трендз, 2001.
6. Левченко В.Н. Спутниковое телевидение. БХВ-Санкт-Петербург, 1999.
7. Бернад Склад. Цифровая связь. Вильямс, М-СПб-Киев, 2003.
8. Дансмор Б., Скандьер Т. Справочник по телекоммуникационным технологиям. Вильямс, М-СПб-Киев, 2004.

История кафедры Физики и техники оптической связи

Кафедра химии входила в состав первых 14 кафедр ЛИТМО, сформированных в 1930 году. В 30-60 годах кафедра работала в рамках факультета точной механики, возглавлял кафедру профессор С.А. Щукарев.

С момента второго рождения Инженерно-физического факультета в 1976 г. кафедра вошла в его состав. В 1974-76 годы на кафедру были приглашены И.К. Мешковский, В.И. Земский и позднее В.Ф. Пашин из ФТИ им. Иоффе, а затем О.С. Попков, Ю.П. Тарлаков из ЛТИ им. Ленсовета и А.Ф. Новиков из ГОИ им. С.И. Вавилова. Заведующим кафедрой был избран И.К. Мешковский. В эти годы на кафедре была предложена и реализована новая учебная программа по курсу "Общая и физическая химия", которая базировалась на новейших достижениях науки и методики преподавания.

На кафедре развивались два научно-технических направления:

- технология оптического волокна;
- создание новых композиционных оптических материалов.

В 1982 г. кафедра первой в стране стала осуществлять подготовку инженеров по специальности "Волоконная и интегральная оптика" и была переименована в кафедру Физической химии, волоконной и интегральной оптики. На кафедру были приглашены С.А. Миронов из ГП "Дальняя связь" и С.В. Данилов из ГОИ им. С.И. Вавилова. На базе кафедры были проведены первые в России разработки по технологии производства оптического волокна, оптических жгутов, различных волоконно-оптических приборов и систем. Благодаря работам заведующего кафедрой, д.т.н., профессора И.К. Мешковского, д.т.н., профессоров В.И. Земского и А.Ф. Новикова возникла научная школа в области фотоники дисперсных и нелинейных сред. Созданы новые композиционные оптические материалы на основе пористого силикатного стекла с внедренными в поры молекулами органических и неорганических веществ, на основе которых впервые были созданы активные элементы твердотельных перестраиваемых лазеров на красителях, а также разработано множество волоконно-оптических и фотонных сенсоров и микрооптических элементов. Доцентом Г.Б. Дейнекой развиты работы по компьютерному моделированию физических и химических процессов.

В 1998 г. в связи с развитием систем телекоммуникации и высокими потребностями в специалистах в области волоконно-оптической связи кафедра первой в Санкт-Петербурге стала осуществлять подготовку инженеров по специальности "Физика и техника оптической связи". На кафедру были приглашены И.А. Соколов из ООО "Оптен", Ю.А. Зингеренко из ЗАО "Новел Ил", А.В. Борисенко из ГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, М.А. Плоткин из ГП «Дальняя связь».

Кафедра обладает уникальной лабораторной базой по системам оптической связи. На кафедре проводятся студенческие научные семинары по телекоммуникации.

Кафедра осуществляет научные разработки совместно с российскими и зарубежными компаниями и университетами.

На кафедре защищено 5 докторских и около 20 кандидатских диссертаций.

Зингеренко Юрий Александрович

Основы построения телекоммуникационных систем и сетей

Конспект лекций

В авторской редакции

Компьютерный набор, верстка, дизайн

А.О. Вознесенская, А.Ю. Буданова,
Е.О. Неронова, А.М. Кульпанова

Редакционно-издательский отдел Санкт-Петербургского государственного
университета информационных технологий, механики и оптики

Зав. редакционно-издательским отделом

Н.Ф. Гусарова

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати 15.09.05

Отпечатано на ризографе

Заказ № 814

Тираж 100 экз.