

ЛЕКЦИЯ 1

Введение. Цели, задачи и структура курса. Краткий обзор истории развития средств телекоммуникаций. Основные органы по разработке международных и национальных стандартов и директивных документов в области телекоммуникаций.

Задачей курса является изучение принципов построения телекоммуникационных сетей и систем, видов передаваемых по ним сообщений, изучение основных характеристик различных сигналов связи и особенностей их передачи по каналам и трактам; изучение принципов и особенностей построения аналоговых и цифровых систем передачи и коммутации, используемых для проводной и радиосвязи.

Курс рассчитан на 54 часа лекционных занятий, 18 часов практических занятий и 18 часов лабораторных занятий в течение 5-го (осеннего семестра). Курс заканчивается зачетом по лабораторным занятиям, выполнением контрольной работы по практическим занятиям и итоговым экзаменом по курсу.

Рекомендуемая литература по курсу:

1. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 1, Б.И. Крук, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов – Новосибирск: Наука, 1998.
2. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 2, Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов – Новосибирск: ЦЭРИС, 2000.
3. Многоканальные системы передачи. Н.Н. Баева, В.Н. Гордиенко, С.А. Курицин и др. – М.: РиС, 1996.
4. Цифровые и аналоговые системы передачи. В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др. – М.: РиС, 1995.
5. Системы радиосвязи. Н.И. Калашников, Э.И. Крупицкий, И.Л. Дороднов, В.И. Носов. – М.: РиС, 1988.

В истории развития средств связи можно выделить несколько этапов.

Первый этап характеризуется появлением электрической связи – созданием первого электромагнитного телеграфа, изобретенного в начале 30-х годов XIX века русским ученым П.Л. Шиллингом. Задача увеличения дальности связи была успешно решена русским академиком Б.С. Якоби, предложившим в 1858г. телеграфную трансляцию. Тогда же было положено начало повышению эффективности использования линейных сооружений изобретением дуплексного телеграфирования.

В 1869г. предложен способ одновременного телеграфирования по общей цепи с помощью токов различных частот.

Началом развития телефонной связи считается 1876г., когда американский инж. А. Белл предложил применять для передачи речи на расстояние электромагнитный прибор, названный телефоном. В 1878г. была разработана схема телефонного аппарата с угольным микрофоном, а также использовать в передающей части схемы трансформатор, что обеспечивало двустороннюю передачу и большую дальность.

В 1880г. создана схема одновременной передачи сигналов телеграфирования и телефонирования, основанная на частотном разделении каналов с помощью простейших электрических фильтров, а также схема для одновременной передачи телеграфных и телефонных сигналов на основе пространственного разделения каналов (принцип уравновешенного моста), чем были созданы предпосылки для построения многоканальных систем передачи (МСП).

Однако практически на первом этапе развития междугородной связи использовались отдельные телеграфные и телефонные цепи. Изучение свойств и опыт проектирования и строительства таких цепей позволили со временем перейти к практическому созда-

нию многоканальных систем связи. Это стало возможным после развития методов радиотехники, изобретения электронных ламп и применения их для усиления, генерации переменных токов, модуляции и демодуляции, разработки теории и методов проектирования электрических фильтров, выравнителей и других элементов.

Второй вариант развития многоканальной связи начинается с создания дуплексных усилителей в 1915г. и использования в них идеи двустороннего действия с дифференциальной системой соединения, которая до сих пор остается основой построения дуплексных усилителей каналов тональной частоты (ТЧ).

Третий этап характеризуется решением проблемы многоканальности. В конце 20-х годов был реализован полосовой фильтр, позволяющий выделять одну боковую полосу частот. К 1930г. появилась трехканальная аппаратура, а в 1940г. была сдана в опытную эксплуатацию первая в СССР 12-канальная система передачи по воздушным линиям из цветных металлов. Началась прокладка кабельных линий, в том числе коаксиальных пригодных для использования в широком спектре частот.

После войны было налажено производство аппаратуры К-12, К-24, К-60, К-120, К-300, К-1920, К-2700, К-5400, К-10800.

Изобретение радио 7 мая 1895г. позволило передавать различные сигналы посредством использования электромагнитных волн распространяющихся в свободном пространстве. Это позволило в 20-х годах XX века построить радиовещательные станции для организации радиовещания.

В 1935г. между Нью-Йорком и Филадельфией вступила в строй радиоперехватная линия на ультракоротких волнах. Она имела протяженность 150 км и две промежуточные «релейные» станции, которые принимали ослабленные радиоволны, «заменяли» их новыми и посылали дальше. Сама радиоперехватная линия была названа «радиорелейной линией». Первая РРЛ в нашей стране была осуществлена в 1953г. между Москвой и Рязанью.

В апреле 1965г. в СССР был запущен искусственный спутник Земли «Молния-1» на борту которого находилась приемопередающая ретрансляционная станция.

В 1960г. в Америке был создан первый в мире лазер, а первые лазерные линии связи появились в начале 60-х годов XX-го столетия.

В 1970г. американская фирма получила сверхчистое стекло. Это дало возможность создать и внедрить повсеместно оптические кабели связи. В 1947г. появилось первое упоминание о разработанной фирмой «Белл» системе с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ). В 1962г. была внедрена в эксплуатацию первая коммерческая система передачи ИКМ-24.

Широкое распространение получают спутниковые системы телевизионного и звукового вещания.

Одной из наиболее быстро развивающихся отраслей связи сегодня является мобильная связь, использующая наземные и спутниковые системы радиосвязи.

Особенно быстрыми темпами, как в мире, так и у нас в стране идет развитие сети подвижной радиосвязи. Количество людей, пользующихся мобильными телефонами превысило 150 млн. По числу абонентов системы мобильной связи уже можно судить об уровне и качестве жизни в данной стране. Пока доля населения, пользующегося сотовой связью в России, составляет около 8%, в Астрахани 5%, в Финляндии для сравнения – 28%. Однако темпы роста абонентов мобильной связи в России (почти 200% в год) вселяют оптимизм.

Термины *телекоммуникационные системы* и *телекоммуникационные сети* начинают применяться наряду с терминами *системы электросвязи* и *сети электросвязи* в результате активного проникновения англоязычных терминов в русскую техническую лексику. Электросвязь (telecommunication) – это передача сообщений (информации) с помощью электромагнитных сигналов.

Отдельные виды и соответствующие им службы электросвязи относятся к передаче сообщений определенного типа: телефонных, телеграфных, данных, факсимильных (не-

подвижные изображения), телевизионных, видеотелефонных, газетных полос для децентрализованной печати, звукового вещания и других, Основной объем передаваемых сообщений (основной трафик) пока составляет телефонная связь. Совокупность оборудования (аппаратуры) для передачи/приема сигналов электросвязи и среды распространения этих сигналов называется *системой электросвязи* или *телекоммуникационной системой*. Совокупность телекоммуникационных систем, объединенных по принципам территориального расположения, функционирования и подчиненности называется *сетью электросвязи* (*сетью связи*) или *телекоммуникационной сетью*.

Обеспечение согласованности параметров оборудования связи, разрабатываемого, производимого и эксплуатируемого во всех странах, а также определение перспектив развития электросвязи – эти задачи в мировом масштабе решает *Международный Союз Электросвязи* (МСЭ). В частности, стандартизирующим органом МСЭ является сектор стандартизации электросвязи МСЭ-Т, здесь буква **Т** означает *телекоммуникации*. До 1993г. аналогичный орган МСЭ назывался МККТТ – Международный Консультативный Комитет по телефонии и телеграфии. МЭС-Т ведает также стандартизацией вопросов включения систем радиосвязи в сети электросвязи общего пользования, ранее входившей в функции существовавшего до 1993г. Комитета МККР. Имеется обширный и постоянно пополняющийся набор рекомендаций МСЭ-Т (МККТТ и МККР) по всем сторонам работы телекоммуникационных систем и сетей.

Основной стратегической целью МСЭ является создание Глобальной информационной структуры, в результате чего будет реализована глобализация и персонализация связи. Глобализация и персонализация связи – это две тенденции развития телекоммуникационных систем и сетей, предусматривающие совершенствование связи по сетевым и техническим (или технологическим) направлениям. *Глобализация связи* – это создание Всемирной (глобальной) сети связи, в которую интегрируются (объединяются) *национальные сети связи* (сети связи отдельных государств), а также входящие в них *региональные* и *абонентские сети связи*. Это позволит любому абоненту земного шара в любое время пользоваться необходимыми ему услугами связи. *Персонализация связи* согласно концепции UPT (Universal Personal Telecommunication) выражается в том, что каждый житель Земли с момента рождения получает персональный номер, который регистрируется во Всемирной сети связи, а поиск абонента при адресовании ему информации осуществляется автоматически с помощью интеллектуальных функций сети (соответствующие рис. 4 и 5 раздел 1.3 методич. указ. по дисциплине «Основы построения ТКСиС»).

ЛЕКЦИЯ 2

Общие принципы построения телекоммуникационных сетей. Общие понятия о телекоммуникационных сетях и системах. Принципы построения и структура взаимосвязанной сети связи (ВСС) РФ. Понятие об эталонной модели взаимодействия открытых систем (ВОС - DSI).

Связь РФ представляет собой совокупность сетей и служб связи и функционирует на территории России как взаимосвязанный производственно-хозяйственный комплекс. Связь является частью инфраструктуры страны. *Инфраструктура страны* (внутренняя структура) – это комплекс отраслей деятельности человека, обслуживающих производство и социальную сферу; сюда входят энергетика, транспорт, связь, информатика, наука, здравоохранение, образование, культура.

Структура связи РФ (рис. 1) включает в себя электросвязь и почтовую связь. Эти виды связи в своей основе действуют независимо друг от друга, имеющееся взаимодействие (служебная электросвязь в почтовом ведомстве, электронная почта, почтовые уведомления в службах электросвязи) показаны стрелками на рис. 1.

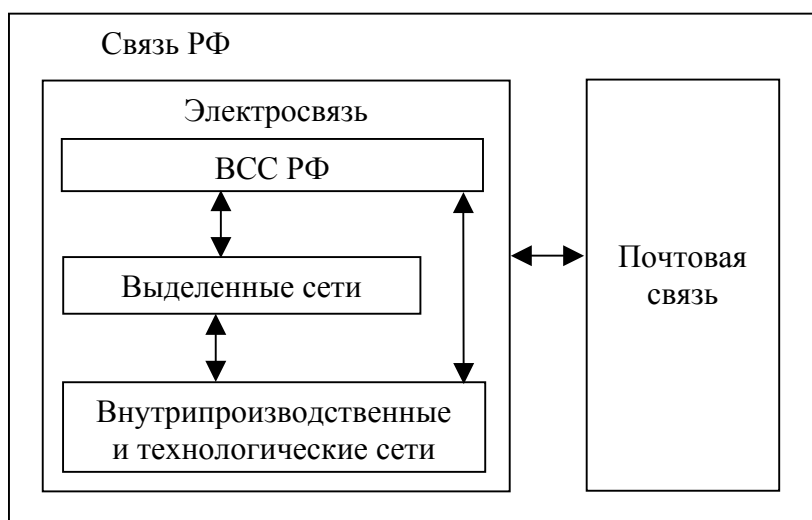


Рис. 1. Структура связи РФ.

Основой электросвязи РФ является ВСС (взаимоувязанная сеть связи) - совокупность технологически сопряженных сетей электросвязи общего пользования, ведомственных, корпоративных (для определенного круга пользователей) и других сетей электросвязи на территории России независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности, обеспеченная общим централизованным управлением, которое строится по иерархически-территориальному принципу. Основные органы управления ВСС России - Главный (национальный) Центр Управления (ГЦУ), Региональные Центры Управления (РЦУ) в выделенных зонах на территории одного или нескольких субъектов РФ, а также узловые Территориальные Пункты Управления (ТПУ) и Информационные исполнительные Пункты (ИП). Состав ВСС показан на рис. 2.

Управление связью РФ регулируется Министерством РФ по связи и информатизации. В ВСС могут не входить, т.е. не иметь централизованного управления, *выделенные сети* (сети ведомств, организаций и фирм, имеющих собственные оборудованные линии, например, сеть связи на железнодорожном транспорте, на газопроводах, компьютерные сети банков и др.), *внутрипроизводственные и технологические сети* (сети учреждений и организаций, например, локальные вычислительные сети по управлению производственными процессами, телефонные сети абонентов учреждений АТС и т.д.). Как видно из

рис. 2 в ВСС входят сети связи ОП, в том числе ТФОП, телеграфная сеть ОП (Тлг.ОП), сеть передачи газет (ПГ) и другие вторичные сети по видам услуг связи, а также *ведомственные и корпоративные сети* ограниченного пользования для определенных контингентов абонентов. Это – *наложенные сети*, они используют каналы и тракты ВСС. К ним относятся ведомственные и корпоративные сети для производственных и специальных нужд (например, рыбного хозяйства, службы почтовой связи, угледобыч и т.д.) и сети связи для нужд управления, обороны, безопасности и охраны правопорядка (например, пожарной службы, милиции и т.д.).

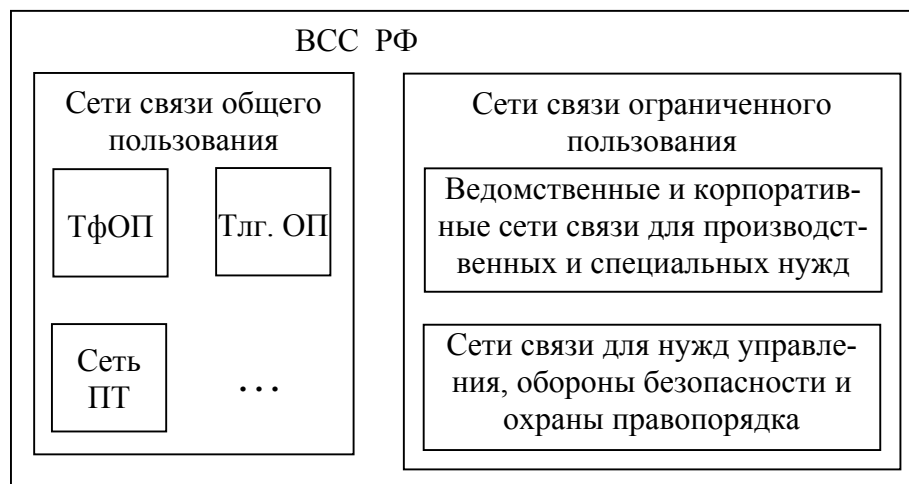
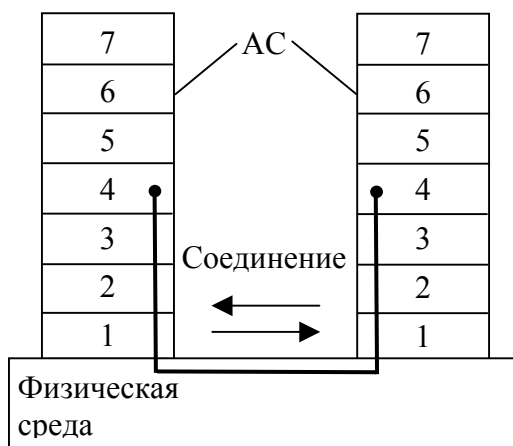


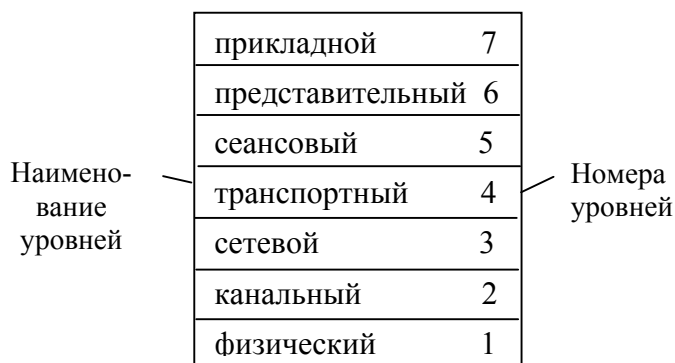
Рис. 2. Состав взаимоувязанной сети связи РФ.

Нормальное функционирование ВСС предусматривает обмен информацией в любых службах электросвязи, который должен осуществляться по определенным, заранее оговоренным правилам. Эти правила (стандарты) разрабатываются рядом международных организаций электросвязи. В 1978г. в Международной организации по стандартам (МОС) был создан подкомитет, задачей которого являлась разработка международных стандартов для взаимосвязи открытых систем (ВОС). Под термином «открытая система» подразумевается система, которая может взаимодействовать с любой другой, удовлетворяющей требованиям открытой системы. Открытой она является тогда, когда соответствует эталонной модели взаимосвязи открытых систем (ВОС).

На рис. 3а представлены основные элементы сети, на рис. 3б – семиуровневая архитектура взаимодействия OSI.



а) Рис. 3. Концептуальная схема информационной сети (а - основные элементы сети).



б) Семиуровневая архитектура взаимодействия OSI.

Основные элементы сети-это абонентские системы АС и физическая среда для передачи информации. АС, представляющие собой рабочие станции пользователей и устройства коллективного пользования, обеспечивают некоторый прикладной процесс-тот или иной вид обработки, доставки и отображения информации для нужд пользователей, например запрос и заказ товаров в торговом центре покупателей с домашнего персонального компьютера (ПК). Под физической средой здесь понимается совокупность цифровых каналов, позволяющих передавать биты информации .

Взаимодействие АС может иметь различный уровень иерархии преобразования информации при обмене. Характер взаимодействия регламентируется международным стандартом: семиуровневой моделью OSI (Open System Interconnection-взаимодействие открытых систем). Сеть, содержащая АС, которые удовлетворяют этой модели и таким образом являются открытыми системами, являются открытой системой. Все современные ЛВС - открытые. В отличие от первоначальных ЛС, предусматривающих подключение рабочих станций только к своей центральной ЭВМ, станции открытых систем могут взаимодействовать с АС любых других систем, выполненных по стандарту OSI.

Семиуровневая архитектура взаимодействия АС имеет следующие функции уровней, т.е. следующие протоколы взаимодействия АС при соединениях (протокол – свод правил и форматов, определяющих взаимодействие элементов). *Первый уровень – физический*, он обеспечивает интерфейс (стык, соединение) с физической средой. *Седьмой уровень – прикладной*, этот уровень обеспечивает интерфейс с прикладным процессом. Между ними уровни *второй – шестой* дают остальные этапы перехода от битов физической среды к прикладному процессу пользователя. *Канальный (второй) уровень* – формирование пакетов (кадров), *сетевой (третий) уровень* – сегментирование и объединение блоков. Нижние три уровня относятся к передаче и маршрутизации данных. Представительный (шестой) уровень согласует форму представления информации (изображение, распечатка, строка символов и т.д.). *Сеансовый (пятый) уровень* обеспечивает диалог прикладных процессов. Верхние три уровня обслуживают пользовательские приложения. *Четвертый (транспортный) уровень* – создает связь между нижней и верхней группами уровней: обеспечивает сквозной обмен информацией между системами. Физическую среду называют также нулевым уровнем.

Как правило, соединение между АТС разных типов сетей осуществляется на нижних уровнях. Соединения на верхних уровнях осуществляется для сетей, выполненных не по модели OSI, а по другим стандартам.

Для связи сетей между собой применяют *интерфейсные устройства* следующих видов:

- 1) повторители (усилители, регенераторы) увеличивают длину сетевого канала – действуют на нулевом уровне;
- 2) коммутаторы – дают соединение на первом уровне;
- 3) мосты – действуют на втором уровне;
- 4) маршрутизаторы – действуют на третьем уровне;
- 5) мосты/маршрутизаторы – в зависимости от характера соединяемых сетей выполняют функции моста или маршрутизатора;
- 6) шлюзы – обеспечивают взаимодействие (соединение) сетей на верхних уровнях.

С ростом номера уровня усложняются интерфейсные устройства. Эталонная модель ВОС – удобное средство для распараллеливания разработки для взаимосвязи открытых систем. Она определяет лишь концепцию построения и взаимосвязи стандартов между собой и может служить базой для стандартизации в различных сферах передачи, хранения и обработки информации.

Функции выполняемые уровнями систем

№ уровня	Наименование уровня	Функции реализуемые уровнем
7	Прикладной	Представление или потребление информационных ресурсов. Управление прикладными программами
6	Представительный	Представление (интерпретация) смысла (значения) содержащейся в прикладных процессах информации
5	Сеансовый	Организация и проведение сеансов взаимодействия между прикладными процессами
4	Транспортный	Передача массивов информации, кодированных любым способом
3	Сетевой	Маршрутизация и коммутация информации, управление потоками данных
2	Канальный	Установление, поддержание и разъединение соединения
1	Физический	Физические, механические и функциональные характеристики каналов

ЛЕКЦИЯ 3

Понятие о первичной и вторичной сетях связи, транспортной сети связи и абонентской сети доступа. Понятие коммутации каналов, сообщений и пакетов, топология сетей связи.

Среди телекоммуникационных сетей различаются первичная сеть и вторичные сети. *Первичная сеть* содержит аппаратуру многоканальных телекоммуникационных систем, т.е. систем передачи и линий передачи (линий связи), это совокупность универсальных или типовых *каналов передачи*. К таким каналам относятся аналоговый канал *Тональной Частоты* (канал ТЧ) с полосой эффективно передаваемых частот (0,3 – 3,4 кГц), *Основной Цифровой Канал* (ОЦК) со скоростью передачи информации 64 кбит/с, а также каналы и тракты с большей пропускной способностью. В последние годы для первичной сети, как сети типовых каналов и трактов, используется название *транспортная телекоммуникационная сеть*. В дополнение указывается, как правило, технология оборудования сети, например, плезиохронной цифровой иерархии (Plesiochronous Digital Hierarchy – PDH, ПЦИ), синхронной цифровой иерархии (Synchronous Digital Hierarchy – SDH, СЦИ) и т.д.

На основе первичной сети создаются вторичные сети по видам электросвязи. Вторичная сеть некоторого вида электросвязи, например, Телефонная сеть Общего Пользования (ТФОП) – представляет собой закрепленные за этой сетью каналы и тракты первичной сети, принадлежащие данной сети центры коммутации, аппаратуру передачи/приема и физические линии, а также оконечное оборудования данного вида связи (последнее ввиду принадлежности пользователям услуг электросвязи часто не относят к телекоммуникационной сети). Каждая вторичная сеть дает совокупность *каналов* соответствующего вида *связи*.

Основы вышеизложенного подхода к осуществлению электрической связи были реализованы в ЕАСС – *Единой Автоматизированной Сети Связи* Союза ССР. В настоящий момент эта сеть, с соответствующими структурными и техническими изменениями, называется *Взаимоувязанной Сетью Связи* (ВСС) Российской Федерации. ВСС РФ развивается в соответствии с «Концепцией развития связи РФ» разработанной МС РФ на период 1995-2015гг. Если используется название цифровая сеть связи, то вводится понятие транспортная сеть. Транспортные сети можно разделить на три уровня. Сеть первого уровня – *локальные* или *местные*. Они организуются в городских или сельских местностях и предназначены для передачи цифровых потоков от АТС и других источников. Например, транспортная сеть городской телефонной сети по кольцу SDH. В этом случае цифровые телефонные станции подключаются к оптоволоконному кольцу непосредственно через мультиплексоры, а аналоговые телефонные станции через устройства сопряжения, переводящие аналоговый сигнал в цифровой и согласовывающие сигналы управления станциями. Сети второго уровня – *региональные* или *зоновые*. Третий уровень – *глобальная (магистральная) сеть*.

При построении транспортных сетей разных уровней сохраняется единообразие в способах транспортировки информации, методах управления сетями и организации синхронизации. Различие в сетях разного уровня состоит лишь в иерархии используемых скоростей, архитектуре сетей (кольцевая, звездообразная, линейная и др.), мощности узлов кросс-коммутации.

От первых шагов по практической реализации сетей телефонной связи до наших дней прошло более 120 лет. Телефонная связь существенно изменилась. Но даже такие глубокие изменения, как переход к цифровым методам передачи, коммутации и обработки информации или применение кабелей связи с оптическими волокнами (ОВ), почти не коснулись принципов построения абонентской линии (АЛ). Особенность современной телекоммуникационной системы заключается в том, что роль АЛ и принципы ее создания изменяются весьма существенно.

Термин «Абонентская линия» уже не отражает суть элемента сети электросвязи между терминалом пользователя и коммутационной станцией. В технической литературе и международных стандартах и рекомендациях появился новый термин «Access Network» - «сеть доступа» или «сеть абонентского доступа». На рис. показана модель перспективной телекоммуникационной системы.

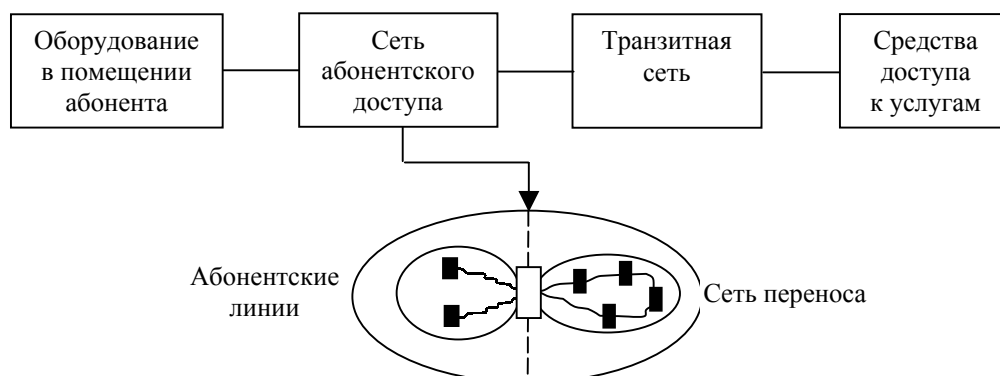


Рис. Модель перспективной телекоммуникационной модели

Первый элемент на рис. представляет собой совокупность терминального и иного оборудования, которое устанавливается в помещении абонента (пользователя).

Второй элемент – сеть абонентского доступа, роль которой состоит в том, чтобы обеспечить взаимодействие между оборудованием, установленным в помещении абонента, и транзитной сетью. Обычно в точке сопряжения сети абонентского доступа с транзитной сетью устанавливается коммутационная станция. Пространство, покрываемое сетью абонентского доступа, лежит между оборудованием, размещенном в помещении у абонента, и этой коммутационной станцией.

Третий элемент – транзитная сеть. Ее функции состоят в установлении соединений между терминалами, включенными в различные сети абонентского доступа, или между терминалом и средствами поддержки каких-либо услуг. В рассматриваемой модели транзитная сеть может покрывать территорию, лежащую как в пределах одного города или села, так и между сетями абонентского доступа двух различных стран.

Четвертый элемент – средства доступа к различным услугам электросвязи. В нижней части показаны узлы, поддерживающие услуги. Примерами такого узла могут быть рабочие места телефонистов-операторов и серверы, в которых храниться какая-либо информация.

Рассмотренную структуру следует рассматривать как перспективную модель телекоммуникационной системы. В случае сетей абонентского доступа аналоговых АТС используются термины – «Абонентская сеть» или «Сеть АЛ». Слова «Сеть абонентского доступа» используются в тех случаях, когда речь идет о перспективной телекоммуникационной системе.

Организация связи в распределенных сетях базируется на принципах коммутации и реализуется в узлах, соединяющих два или несколько входящих и исходящих каналов в требуемых направлениях. *Коммутация* – это процесс создания последовательного соединения функциональных единиц для транспортировки информации. В целом задачу распределения информационных потоков выполняет система коммутации, состоящая из собственно сети, коммутационных станций и узлов коммутации (УК), системы подключения пользователей и оконечных пунктов (ОП) – терминальных устройств. Наиболее важную роль в ней играют УК, обеспечивающие установление, поддержание и разъединение соединений между терминалами (телефонными аппаратами, компьютерами и т.д.), каждому из которых присвоен адрес (номер).

Известны два основных принципа коммутации: непосредственное соединение и соединение с накоплением информации. При непосредственном соединении осуществляется физическое соединение входящих в УК (узел коммутации) каналов с соответствующими адресу исходящими каналами. При соединении с накоплением сообщений сигналы из

входящих в УК каналов сначала записываются в запоминающее устройство, откуда через определенный промежуток времени поступают в исходящие каналы.

В свою очередь непосредственное соединение подразделяются на системы с отказом и системы с ожиданием.

Принцип непосредственного соединения реализуется в системе коммутации каналов (КК). Под *коммутацией каналов* понимается совокупность операций по соединению каналов для получения сквозного канала, связывающего через узлы коммутации один ОП с другим (например, в Тф связи).

Коммутацией с накоплением называется совокупность операций при приеме на УК сообщения или его части, накопления и последующей передачи сообщения или его части в соответствии с содержащимся в нем (ней) адресе.

Известны две разновидности системы с накоплением: *система коммутации сообщений (КС)* и *система коммутации пакетов (КП)*. В случае коммутации сообщений вся информация по мере свободности каналов передается поэтапно через узлы коммутации, где она хранится до освобождения каналов (телеграфная связь). Коммутация пакетов состоит в том, что образуется *виртуальный канал* между абонентами, по которому в асинхронном режиме, по мере освобождения физического канала передаются блоки информации абонента (пакеты). Различают два способа (режима) передачи пакетов: режим *виртуальных соединений* и *датаграммный*. Режим виртуальных соединений эффективен при передаче больших массивов информации и обладает всеми преимуществами методов коммутации каналов и пакетов. Для коротких сообщений более эффективен датаграммный режим, не требующий довольно громоздкой процедуры установления виртуального соединения между абонентами. Термин «датаграмма» применяют для обозначения самостоятельного пакета, движущегося по сети независимо от других пакетов. Выбор методов коммутации решается исходя из требований к транспортной сети, которые в свою очередь определяются особенностями трафика, классом пользователей и показателями качества их обслуживания.

Топология сети – это конфигурация соединения ее элементов. Основу современных сетей связи составляют *проводные линии*, выполненные на электрических и оптических кабелях, а также *радиорелейные линии* (РРЛ). Проводные линии имеют наибольшую пропускную способность (примерно 120 тыс. каналов по паре оптических волокон (ОВ) для ВОСП типа STM-64), обеспечивают надежную и скрытую связь с высоким качеством передачи информации. Достоинства наземных РРЛ – более простое и дешевое их сооружение.

Спутниковые линии связи дают сравнительно дорогую связь и выгодны главным образом для удаленных, труднодоступных и малонаселенных районов, в особенности, в Сибири и на Крайнем Севере. Главная область применения наземной радиосвязи – *мобильная связь (подвижная радиосвязь)*, т.е. связь подвижных объектов. Мобильная связь может быть обычной двухсторонней связью (телефоны, ПД, факсимильная связь и т.д.), а также односторонней связью: *пейджинговая связь* – персональный радиовывоз, посланный на *пейджер*. Главный недостаток таких сетей – дороговизна связи.

ВСС РФ имеет разнообразную *топологию*. *Магистральные линии* действующей сети образуют сетевидную структуру: между любыми сетевыми узлами имеются по крайней мере два–три независимых пути соединения. Это обеспечивает экономичность и высокую надежность сети. *Зоновые сети* имеют радиально-узловую топологию, к ней добавляется принцип соединения каждый с каждым для групп АТС, звездообразное подключение абонентов к станции, а также *рокадный* т.е. *круговой принцип* прохождения связей поперек радиусов в обход узлов. Развитие ВСС идет в направлении широкого внедрения новых кольцевых структур, особенно на вновь строящихся телекоммуникационных сетях – локальных сетей

ЛЕКЦИЯ 4

Краткая характеристика основных элементов телекоммуникационных сетей. Особенности построения цифровых сетей интегрального обслуживания, интеллектуальных, локальных и корпоративных сетей связи.

Как уже отмечалось в телекоммуникационную сеть входят следующие основные элементы: терминальное оборудование (ТО, оконечный пункт – ОП, абонентский пункт – телефонный аппарат); сети абонентского доступа (абонентские линии), узлы коммутации (УК) – АТС, межстанционные соединительные линии (СЛ), оборудование АМТС, оборудование многоканальных систем передачи и т.д. В зависимости от того, какая сеть связи – аналоговая и/или цифровая в качестве терминального оборудования может быть обычный телефонный аппарат с импульсным или тоновым набором, цифровой телефонный аппарат, многофункциональный телефонный аппарат, персональный компьютер (ПК), факсимильный аппарат, интерфейсы и др. УК – ДШАТС, КАТС, квазиэлектронные АТС, цифровые (электронные АТС) и другое оборудование. Оборудование АМТС аналоговое или цифровое. МСП использующие в качестве среды передачи: симметричные кабели, коаксиальные кабели ВОЛС, свободное пространство – спутниковые системы, радиорелейные линии связи (РРЛс), системы подвижной радиосвязи (мобильные и пейджинговые системы) и др. Причем МСП могут быть как аналоговые (с частотным уплотнением) так и цифровые (с временным уплотнением).

В историческом развитии сетей и услуг связи можно выделить четыре основных этапа (рис.1).

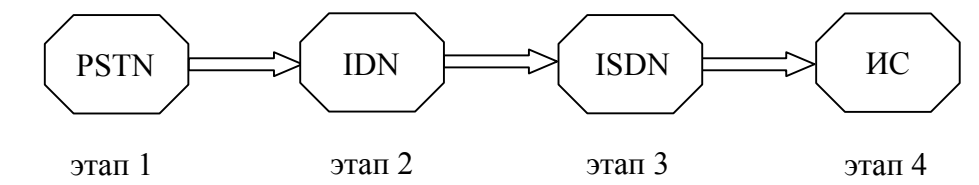


Рис. 1. Этапы развития сетей и услуг связи.

Каждый этап имеет свою логику развития, взаимосвязь с предыдущими и последующими этапами. Кроме того, каждый этап зависит от уровня развития экономики и национальных особенностей отдельного государства.

Первый этап – построение телефонной сети общего пользования (ТфОП - PSTN). В течение длительного времени каждое государство создавало свою аналоговую телефонную сеть общего пользования (ТфОП), Тф связь предоставлялась населению, учреждениям, предприятиям и отождествлялась с единственной услугой – передачей речевых сообщений. В дальнейшем с помощью модемов – передача данных. Однако, даже в настоящее время телефон остается основной услугой связи, принося эксплуатационным организациям более 80% доходов.

Второй этап – цифровизация телефонной сети. Для повышения качества услуг связи, увеличения их числа, повышения их автоматизации управления и технологичности оборудования, промышленно развитые страны в начале 70-х годов начали работы по цифровизации первичных и вторичных сетей связи. Были созданы *интегральные цифровые сети (IDN)*, предоставляющие также в основном услуги телефонной связи на базе цифровых систем коммутации и передачи.

В настоящее время во многих странах цифровизация телефонных сетей практически закончилась.

Третий этап – интеграция услуг. Пользователю этой сети предоставляется базовый доступ 2В+D, по которому информация передается по трем цифровым каналам: два канала **В** со скоростью передачи 64 кбит/с и канала **D** со скоростью 16 кбит/с. Каналы **В** используются для передачи речевых сообщений и данных, канал **D** – для сигнализации и для передачи данных в режиме пакетной коммутации. Для пользователя с большими потребностями может быть предоставлен первичный доступ, содержащий 30 **В** каналов и 2 канала сигналов синхронизации, сигнализации, служебной связи и др.

Цифровая сеть интегрального обслуживания – результат эволюции сетей передачи данных и интегральной цифровой сети связи (ИЦСС). Хотя ИЦСС в 70-е годы XXв. и называлась интегральной, в ней были реализованы лишь первых два шага интеграции (объединения):

- интеграция *элементной базы средств управления и коммутации* (использование однотипных электронных компонентов);

- интеграция *способов разделения каналов* в коммутационном и каналообразующем оборудовании. В такой сети информация пользователей передавалась в цифровой форме только по цифровым трактам между станциями и узлами и в коммутационном поле, абонентские линии оставались аналоговыми. Цифровой сетью называется сеть электросвязи, в которой информация передается (по АЛ и СЛ) и коммутируется (на станциях и узлах) в цифровой форме. Цифровой сетью *интегрального обслуживания* называют такую цифровую сеть, которая поддерживает множество служб электросвязи. Под интеграцией обслуживания (служб) понимают объединение нескольких служб (речи, данных, изображений и др.) поддерживаемых одной сетью (ISDN).

В состав узкополосных У-ЦСИО должны входить три вида специализированных сетей (рис. 2): коммутации каналов (КК), коммутации пакетов (КП), сигнализации (СС). У-ЦСИО поддерживает множество служб, а именно: службу Тф связи, телетекса, факс связи, телекса, телефакса, бюрофакса, телеконференций, ПД с КК, ПД с КП и др. Под службой электросвязи понимают виды обслуживания. Службы предоставляют услуги абонентам.



Рис. 2. Структурный состав ЦСИО.

Различают три условия интеграции цифровых сетей:

1. элементной базы (использование однотипных компонентов и аппаратных средств управления, коммутации и каналообразования);
2. способов разделения каналов (временное разделение) в коммутационном и каналообразующем оборудовании;
3. служб (видов) электросвязи.

Концепция ISDN существует около 20 лет, но широкого распространения в мире не получила по нескольким причинам. Во-первых оборудование ISDN достаточно дорого, чтобы стать массовым; во-вторых пользователь постоянно оплачивает три цифровых канала; в-третьих, перечень услуг ISDN превышает потребности массового пользователя. Именно поэтому интеграция услуг начинает заменяться концепцией интеллектуальной сети.

Четвертый этап – интеллектуальная сеть IN (Intelligent Network). Эта сеть предназначена для быстрого, эффективного и экономичного представления информационных услуг массовому пользователю. Необходимая услуга предоставляется пользователю тогда, когда она ему требуется и в тот момент времени, когда она ему нужна. Соответственно и платить он будет за предоставленную услугу в течение этого интервала времени. Таким образом, быстрота и эффективность предоставления услуги позволяют обеспечить и ее экономичность, т.к. пользователь будет использовать канал связи значительно меньшее время, что позволит ему уменьшить затраты. В этом заключается принципиальное отличие IN (ИС) от предшествующих сетей – в гибкости и экономичности предоставления услуг.

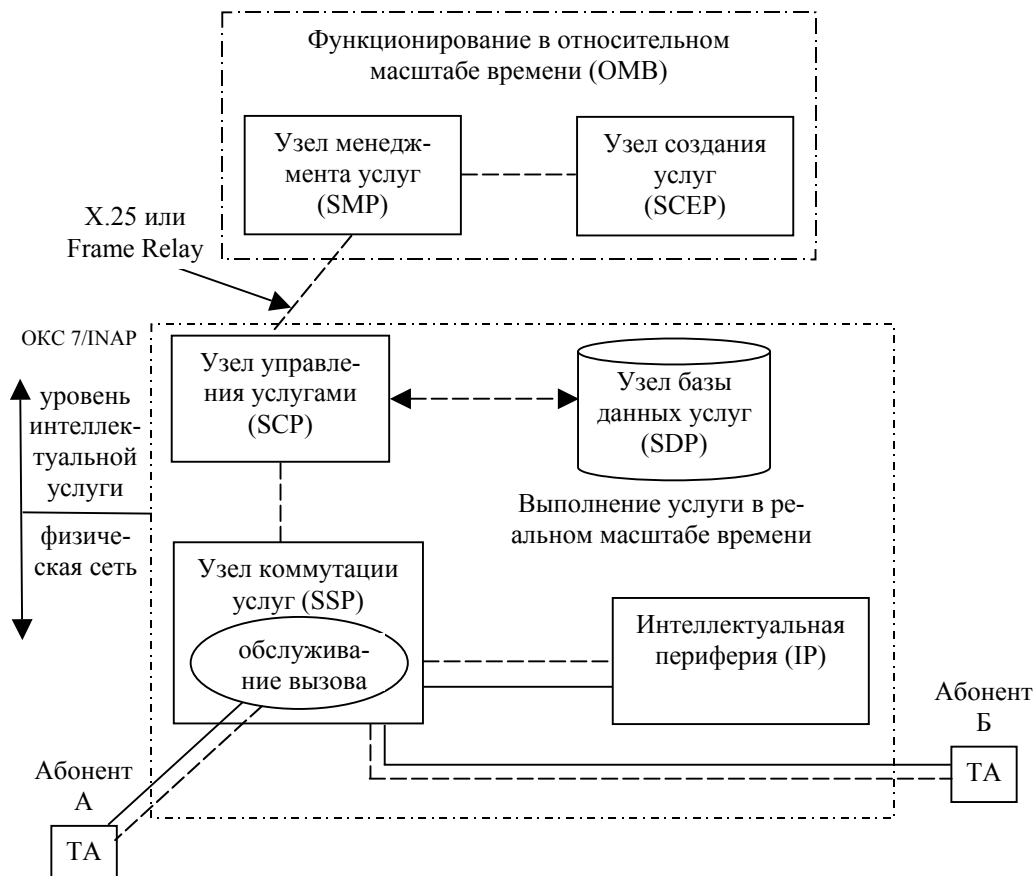


Рис. 3. Упрощенная схема ИС

На рис. 3 дана классическая схема физической архитектуры ИС, в состав которой входят:

SSP - узел коммутации услуг, представляющий собой АТС с соответствующей версией программного обеспечения и выполняющий функцию управления вызовом и функцию коммутации услуги;

SCP – узел управления услугами (контроллер услуг), делает возможной работу с базой данных с транзакцией в реальном масштабе времени (PMB). SCP интерпретирует поступающие запросы, обрабатывает данные и формирует соответствующие ответы;

SDP – узел базы данных услуг, содержащий данные используемые программами логики услуги, чтобы обеспечить индивидуальность услуги;

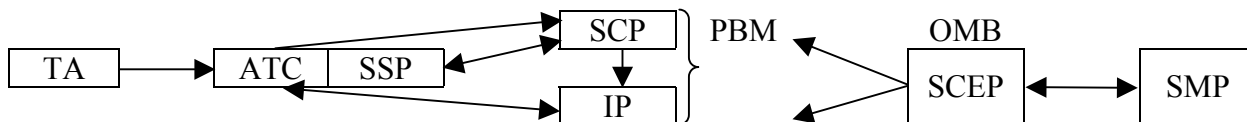
IP – интеллектуальные периферийные устройства, представляющие собой независимые от используемых приложений устройства интеллектуальных ресурсов, обеспечивающие дополнительные к SSP возможности;

SMP – узел менеджмента услуг, реализующий функции административного управления пользователями и/или сетевой информации, включающей данные об услугах и программную логику услуги;

SCEP – узел создания услуг, выполняет функцию среды создания услуг и служит для разработки, формирования и внедрения услуг в пункте их обеспечения SMP.

Узлы упрощенной схемы ИС размещены на трех уровнях иерархии:

- узел коммутации услуг SSP с интеллектуальной периферией IP;
- узел управления услугами SCP с узлами данных услуги (базой данных) SDP;
- узел менеджмента услуг SMP с узлом создания услуг SCEP.



Все услуги ИС можно разделить на две группы: *услуги со специальными тарифами и новые ДВО*. Под новыми ДВО нужно понимать такие дополнительные услуги, которые могут предоставляться любому абоненту коммутируемой сети с интеллектуальной надстройкой, а не только абоненту, подключенному к ЦАТС и имеющему ТА с частотным номеронабирателем. К услугам со специальным тарифом относится услуга ЗТ (зеленый телефон) – оплата за счет вызываемого абонента.

По территориальной распространенности компьютерные сети могут быть локальными, региональными и глобальными. *Локальные* – это сети, перекрывающие территорию не более 10 км²; *региональные* – расположенные на территории города или области; *глобальные* – на территории государства или группы государств, например, всемирная сеть Internet.

ЛЕКЦИЯ 5

Основные характеристики первичных сигналов связи, уровни передачи.

Связь представляет собой процесс передачи сообщений от источника к получателю. Для передачи различного рода сообщений широко используются *электрические сигналы* – электромагнитные колебания изменения параметров которых отображают передаваемые сообщения.

Передача сообщений посредством электрических сигналов называется *электросвязью*.

Сигналы связи во времени меняют свои мгновенные значения, причем эти изменения могут быть предсказаны лишь с некоторой (меньше 1) вероятностью. Таким образом сигналы связи являются случайными процессами, поэтому и их описание осуществляется посредством методов, аналогичных методам описания случайных процессов.

В общем случае сигналы связи неэргодические и нестационарные случайные процессы и методы их описания достаточно сложны. Поэтому принято *моделировать* реальные сигналы эргодическим и стационарным случайным процессом, полученным в результате двойного усреднения – вначале по множеству реализаций определяются числовые характеристики для достаточно большого числа моментов времени, а затем эти характеристики усредняются по времени. Полученная таким образом модель отображает некоторый *«среднестатистический»* сигнал, параметры которого и используются при практических расчетах, ясно, что в расчетах неизбежно возникают ошибки, которые преодолеваются некоторым завышением требований к рассчитываемым устройствам с помощью машинных и натуральных экспериментов и т.д. Постоянно проводятся работы по накоплению статистических материалов для совершенствования моделей сигналов.

Рассмотрение основных параметров сигнала как числовых характеристик моделированного случайного процесса $U(t)$ производится во времени на интервале от $-T/2$ до $T/2$ при $T \rightarrow \infty$. Однако для реальных сигналов измерения выполняются в конечных временных интервалах, что приводит к возникновению погрешностей, которая тем больше, чем меньше интервал измерений. Поэтому параметры сигналов нормируются по разному на интервалах 1с., 1мин., 1ч.

Системы электросвязи могут передавать следующие первичные сигналы: телефонирования, звукового вещания, телеграфирования и ПД, факсимильного и телевизионного вещания.

Сигналы телефонирования представляют собой последовательности речевых импульсов, отделенных друг от друга паузами. Импульсы соответствуют звукам речи, произносимым слитно, и весьма разнообразны по форме и амплитуде. Длительности отдельных импульсов также отличаются друг от друга, но обычно они близки к 100...150мс. Паузы между импульсами изменяются в значительно большем диапазоне: от нескольких *миллисекунд* (межслововые паузы) до *нескольких минут* или даже *десятков минут* – паузы при выслушивании ответа собеседника.

Частотный спектр речевого сигнала очень широк, однако экспериментально было установлено, что для передачи с достаточно высоким качеством (удовлетворительной натуральностью и разборчивостью слогов 90% и фраз 99%) можно ограничиться полосой частот 0,3...3,4кГц (300...3400Гц).

Отношение $U_{Тф} = 10 \lg (P_{Тф}/P_{изм})$ дБм 0 называется *динамическим уровнем* (волюмом); где – $P_{Тф}$ – мощность сигнала усредненная за время наблюдения T_n , $P_{изм}$ – мощность измерительного сигнала в точке тракта, где проводится исследование. Согласно рекомендациям МККТТ волюмы измеряются специальным прибором *волюметром* обеспечивающим квадратичный з-н суммирования колебаний различных частот имеющим логарифми-

ческую шкалу (в дБ) и постоянную времени (время интегрирования) $T_n = 200$ мс. Средняя мощность Тф сигнала $P_{Тф\ ср} = 88$ мкВт 0 – без учета пауз в ТНОУ. С учетом пауз $P_{Тф\ ср\ п} = 32$ мкВт 0, $P_{Тф\ max} = 2220$ мкВт 0 (+ 3,5 дБм 0) при вероятности $\varepsilon = 10^{-3}$.

При определении величины флюктуационной помехи, действующей на входе оконечного аппарата, ее приводят к эффективно воздействующей на орган слуха «взвешенной помехе» суть, которой заключается в том, что на входе измерительного прибора устанавливается амплитудный корректор, частотная характеристика передачи которого повторяет среднестатистическую характеристику чувствительности системы «*телефонный аппарат-слух*». Взвешенное значение помехи будет меньше не взвешенной из-за меньшей чувствительности этой системы на краях частотного диапазона, и следовательно большего затухания корректора на этих же частотах. Снижение действующего напряжения равномерно распределенной по спектру помехи определяется *псофометрическим коэффициентом* $K_{пс}$, равным 1,33 для полосы частот 0,3...3,4 кГц. Средняя мощность этой же помехи будет снижена в $1,33^2 = 1,77$ раза, а уровень – на $20 \lg 1,33 = 2,48$ дБ. В размерности взвешенных – псофометрических величин вводится буква «П», т.е. дБм 0п, пВт 0 и др. ($1 \text{ Вт} = 10^3 \text{ мВт} = 10^6 \text{ мкВт} = 10^9 \text{ нВт} = 10^{12} \text{ пВт}$).

Экспериментально установлено, что качество приема Тф сигнала еще достаточно при средней мощности помехи 178000 пВт 0 или 100000 пВтп. При определении пик-фактора и помехозащищенности сигнала используют среднюю мощность сигнала без учета пауз: $Q_{Тф} = 14$ дБ – пик-фактор ($P_{max}/P_{ср}$), $A_{зТф} = 27$ дБ. Динамический диапазон $D_{Тф} = 10 \lg (2220 \cdot 10^{-6} / 178000 \cdot 10^{-12}) = 41$ дБ.

Сигналы ЗВ по своему характеру близки к речевым сигналам, поэтому их отличия от Тф носят количественный характер. Частотный спектр ограничивают для каналов ВК 0,03...15 кГц, и 0,05...10 кГц для каналов I класса. Имеют значительно меньше пауз, а энергия отдельных импульсов, особенно музыкальных существенно выше. Поэтому $P_{зв\ ср} \gg$ больше $P_{Тф\ ср}$. Нормируются среднесекундная, среднeminутная и среднечасовая мощности $P_{зв\ ср}$ равные соответственно: 4500, 2230 и 923 мкВт0. P_{max} определяется при вероятности превышения $\varepsilon = 0,02$ и составляет 8000 мкВт0.

Динамический диапазон: речь диктора до 35 дБ; художественное чтение до 50 дБ музыкальные и хоровые ансамбли до 55 дБ; симфонический оркестр до 65 дБ. Помхозащищенность сигналов ЗВ должна быть не хуже $A_{пз\ зв} = 42$ дБ.

Сигналы телеграфирования и передачи данных (ПД). Чаще всего представляют последовательности униполярных или биполярных импульсов постоянной амплитуды, при этом положительный импульс обычно соответствует передаваемому знаку «1», а пропуск импульса или отрицательный - знаку «0». Частота следования «1» и «0» называется *тактовой частотой* F_T . Численно F_T соответствует скорости передачи информации в *бод* (*Бод*), а в данном случае (два разрешенных значения «1» и «0») – скорости передачи в битах в секунду (бит/с). Условно различают низкоскоростную (до 200 бод), среднескоростную (300...1200 бод) и высокоскоростную (свыше 1200 бод) передачу данных. Верхнюю частоту сигнала ПД принимают равной F_T или даже $1,2 F_T$. Допустимая вероятность ошибки равна около 10^{-5} , а помехозащищенность $A_{з\ пд} = 12$ дБ.

Факсимильные сигналы (сигналы передачи неподвижных изображений) получают в результате преобразования светового потока, отражаемого элементами изображения, в электрические сигналы.

При передаче *штриховых изображений* (состоящих из черных и белых элементов, например, газетной полосы) факсимильный сигнал (ФС) состоит из униполярных импульсов различной длительности, но одинаковой амплитуды. Принимают, что полоса частот такого сигнала находится в пределах $0 \dots F_p$, причем F_p – частота рис. – связана с длительностью самого короткого импульса τ_n соотношением $F_p = 1/2\tau_n \cdot \tau_n = d_c / V$ раз. При передаче документов $\tau_n = 0,34$ мс., $F_p = 250$ кГц. Помехозащищенность $A_{пз\ фс} = 35$ дБ.

Сигналы ТВ состоят из суммы сигналов яркости (изображения), аналогичных по-лутоновым сигналам ФС, сигналов цветности и «синхросмеси» $F_p = 6,5$ МГц. $A_{ЗТВ} = 48$ дБ. Уровень псофометрической помехи ниже уровня помехи с равномерным спектральным распределением на 9 дБ, т.е. $A_{ЗП} = 57$ дБ.

Электрические сигналы количественно можно характеризовать мощностью, напряжением или током. Однако в технике электросвязи принято пользоваться логарифмическими характеристиками (уровнями передачи), что позволяет существенно упростить многие расчеты. Уровни передачи, вычисленные посредством десятичных логарифмов, называются *децибелами* (дБ), а посредством натуральных – *неперами* (Нп). В настоящее время принято пользоваться децибелами.

Уровни передачи по мощности напряжению и току определяются соответственно по формулам

$$P_m = 10 \lg(P_x/P_0), \quad P_n = 20 \lg(U_x/U_0), \quad P_l = 20 \lg(I_x/I_0),$$

где P_x, U_x, I_x – величины мощности, напряжения и тока в рассматриваемой точке X; P_0, U_0, I_0 – величины принятые за исходные.

Если за исходные величины мощности, напряжения и тока приняты соответственно $P_0 = 1$ мВт ($\text{мВ} \cdot \text{А}$), $U_0 = 0,775$ В и $I_0 = 1,29$ мА, то вычисленные уровни называют *абсолютными* и обозначают дБм, дБн, дБт.

При подаче на вход исправного и отрегулированного тракта синусоидального сигнала с абсолютным уровнем и частотой, рекомендованными для измерения этого тракта, в точках тракта устанавливаются абсолютные уровни, которые называются *измерительными*. Измерительные уровни содержатся в техническом паспорте тракта и удобны при проверке и настройке последнего.

Иногда в качестве исходных величин принимают значения P_n, U_n, I_n , установленные в начале тракта или в точке, принятой условно за начало. Тогда вычисленные уровни

$$P_{m0} = 10 \lg(P_x/P_n), \quad P_{n0} = 20 \lg(U_x/U_n), \quad P_{l0} = 20 \lg(I_x/I_n),$$

называют *относительными* и обозначают дБом, дБон и дБо_l. Эти уровни широко используют при измерениях передаточных характеристик трактов, поскольку их значения оказываются численно равными усилению по мощности, напряжению или току участка тракта от начала до данной точки. Очевидно, что отрицательные значения уровней при этом будут соответствовать не усилению, а затуханию данного участка.

При нормировании величин сигналов и помех в каналах и трактах используется понятие *точки нулевого относительного уровня* по мощности (ТНОУ). Абсолютный уровень P_{m0} , определенный в ТНОУ, обозначается как дБм 0. Для перехода от уровня сигнала в ТНОУ к уровню по мощности P_m в данной точке тракта пользуются соотношением $P_m = P_{m0} + P_{m \text{ изм}}$, где $P_{m \text{ изм}}$ – измерительный уровень по мощности в данной точке тракта.

ЛЕКЦИЯ 6

Понятие об оценке качества передачи сигналов связи. Виды оконечных устройств (терминалов) на вторичных сетях. Устройство, принцип действия и основные характеристики оконечных устройств сетей связи.

Каналом передачи называют совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сообщений от источника информации до потребителя (см.рис.1). Качество различных каналов передачи может оцениваться *прямыми* и *косвенными* методами.

Прямыми названы методы, позволяющие оценить принимаемые сообщения при сравнении их с исходными. К ним относятся *метод определения эквивалента затухания по разборчивости*, рекомендованный МККТТ для телефонной связи, *метод сравнения эталонных таблиц (тест-таблиц)* для телевизионной и факсимильной связи и т.д.

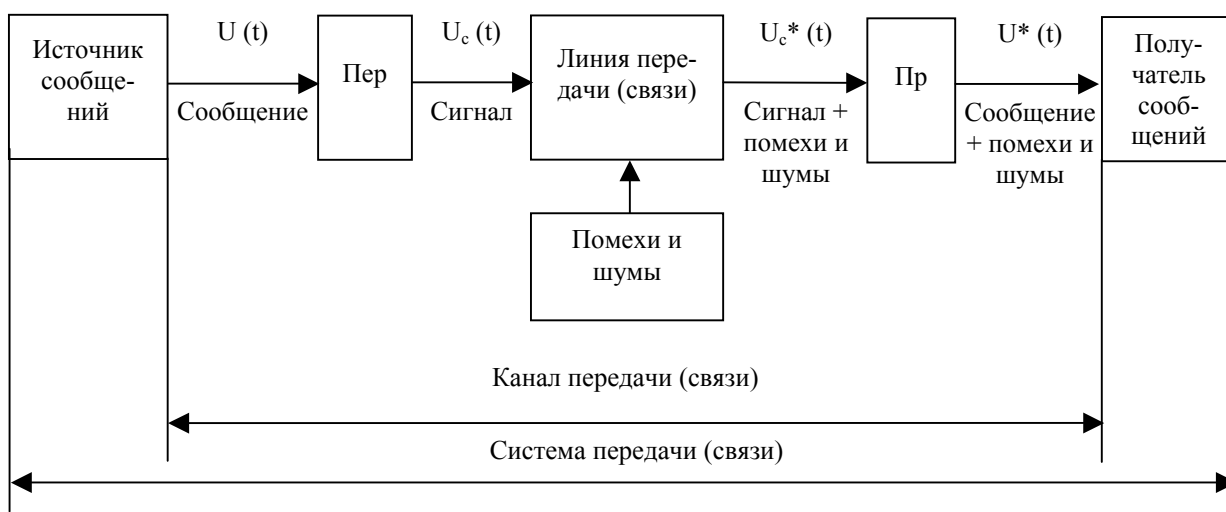


Рис. 1. Структурная схема системы передачи сигналов электросвязи

Прямые методы наиболее полно определяют качество каналов передачи. Однако, пользуясь только этими методами, очень трудно определить необходимые мероприятия по улучшению качественных показателей каналов, поэтому их заменяют или дополняют косвенными.

Косвенные методы дают возможность характеризовать канал передачи *шириной полосы пропускания, уровнями передачи, динамическим диапазоном, диаграммой уровней, АЧХ, ФЧХ, частотой ошибок* за определенный интервал времени. Эти характеристики позволяют судить о состоянии канала и аппаратуры. По рассматриваемым характеристикам легко обнаружить ту составную часть аппаратуры или канала, которая нуждается в улучшении.

Абонентские терминалы которыми могут быть абонентские телефонные аппараты, офисные АТС или компьютеры обычно подключаются к сети по паре медных проводов - абонентской линии. Абонентская линия имеет в сети свой уникальный номер - номер абонента; ее длина не должна превышать 7-8 км и передача информации по ней ведется чаще всего в аналоговой форме.

Телефонные аппараты (ТА) весьма разнообразны как по своему конструктивному исполнению настенные, настольные, в стиле ретро, портативные в виде телефонных трубок, с поворотными и кнопочными номеронабирателями, так и по сервисным возможностям, ими предоставляемыми.

В современных телефонных системах существуют два способа кодирования набираемого номера:

- Pulse – импульсный в ТА с наборным диском;

- Tone – тональный, в ТА с кнопочным номеронабирателем.

При импульсном способе при наборе цифры в линию связи подаются импульсы, количество которых соответствует набранной цифре. При тональном способе посылается непрерывный сигнал, состоящий из комбинации двух частот, значения которых и кодируют передаваемый номер.

Практически все действующие телефонные сети допускают импульсный набор номера. Тональные же системы набора, хотя они и становятся стандартом, могут использоваться только на сравнительно новых АТС (ЭАТС, ЦАТС). Большинство новых ТА имеют переключатель способа кодирования Pulse/ Tone.

Среди существенных сервисных возможностей ТА следует отметить:

- многоканальность, т.е. возможность подключения ТА к различным телефонным линиям;
- переключение вызывающего абонента на другую линию;
- наличие кнопки временного отключения микрофона от сети;
- переговоры сразу с несколькими абонентами;
- наличие долговременной памяти номеров приоритетных абонентов;
- наличие оперативной памяти для повторного вызова последнего абонента, в том числе и для многократного вызова (автодозвона) занятого абонента;
- постановка собеседника на удержание, с включением фоновой музыки;
- автоматическое определение номера (АОН) вызывающего абонента с отображением его на дисплее и звуковым его воспроизведением;
- защита от АОН вызываемого абонента (анти-АОН);
- запоминание номеров вызывающих абонентов и текущего времени каждого вызова;
- индикация во время разговора второго вызова и № вызывающего абонента;
- наличие персональных кодов-паролей;
- наличие автоответчика и встроенного диктофона для записи передаваемых сообщений;
- наличие дистанционного управления телефонном;
- возможность подключения телефона к компьютеру.

Все больше распространение получают *многофункциональные телефонные аппараты*.

ТА – коммутатор секретаря (директорский коммутатор). Секретарь принимает по этому телефону все звонки внешних абонентов и обрабатывает их в соответствии с указаниями руководителя. Наиболее важные специфические функции этого коммутатора: многоканальность, возможность переадресации на другой номер, организация телефонных конференций, постановка абонента на удержание; наличие электронного телефонного справочника.

Полнее всего сервисные возможности реализуются в цифровых ТА, используемых с цифровыми телефонными станциями. Многофункциональный ТА фирмы Samsung – цифровая система связи CS. К системному аппарату могут быть подсоединены: факсимильный аппарат, модем для передачи данных, другие внутрисистемные телефонные и пейджинговые аппараты со своими номерами.

Все офисные АТС можно классифицировать:

- по их емкости и конфигурации – количеству портов подключения внешних и внутренних абонентских линий;
- по виду коммутируемого сигнала;
- по типу используемых абонентских линий (аналоговых или цифровых линий);
- по охватываемой территории;
- по возможности расширения.

Конфигурация АТС определяется отношением количества ее внешних абонентских линий к количеству внутренних абонентских линий. Например, 6х32 имеет 6 портов для

подключения внешних линий и 32 порта для подключения внутренних (1x4; 1x6; 2x6; 3x8; 4x8; 8x24; 12x32; 16x48; 24x64; 20x210; 200x1000).

По виду коммутируемого сигнала АТС делятся на аналоговые, цифровые, гибридные.

В аналоговых АТС звуковые сообщения представляются в виде непрерывных или импульсных сигналов с изменяющейся амплитудой.

В цифровых АТС звуковые сообщения методом ИКМ преобразуются в последовательность двоичных кодов, после обработки и коммутации цифровые сигналы преобразуются обратно в аналоговые и подаются во внутреннюю АЛ.

Цифровые АТС существенно дороже аналоговых, но обеспечивают значительное расширение функциональных возможностей.

В гибридных АТС звуковой сигнал обрабатывается так же, как и в аналоговых, но предусмотрены дополнительные возможности для обработки и передачи цифровой информации.

К офисной АТС подключаются два типа ТА:

- обычные 2-проводные ТА;
- системные 4-проводные ТА.

Двухпроводные аппараты являются самыми простыми и дешевыми, но не все офисные АТС могут с ними работать.

Системные ТА создаются специально для работы с офисной АТС, они на порядок дороже обычных аппаратов, но обеспечивают выполнение всех предусмотренных в станции сервисных возможностей. Системные ТА могут работать как с аналоговым, так и с цифровым сигналами, причем в первом случае для подключения аппарата к АТС требуется 4-проводная линия (по одной паре проводов передается разговор, по другой - системные команды), во втором случае – 2-проводная.

В последние годы получают применение беспроводные АТС или DECT – концентраторы, подключаемые к обычной проводной АТС. К DECT - концентратору 4-проводными линиями подключают устройства беспроводного доступа, и через них происходит радиосоединение с портативными абонентскими радиотрубками.

Компьютерной телефонией названа технология, в которой компьютерные ресурсы применяются для выполнения исходящих и приема входящих звонков и для управления телефонным соединением.

Работа систем компьютерной телефонии может быть основана на использовании голосовых меню: абонент прослушивает сообщение о том, какие варианты процедур он может выбрать в данный момент и какие действия ему следует выполнить для выбора того или иного варианта. Выбор осуществляется набором определенной цифры или комбинации цифр на клавиатуре ПК, ТА, подключенном к компьютеру, или произнесением определенной команды.

В последние годы прослеживаются две основные тенденции компьютерно-телефонной интеграции:

- телефонная связь все в большей степени приобретает черты средства удаленного доступа к данным;
- ПК все в большей степени пытается заменить ТА, что позволяет говорить о появлении своеобразных мультимедийных станций. Традиционные телефоны постепенно уступают место компьютерным терминалам, способным за кратчайшее время осуществить соединение по компьютерным сетям.

Беспроводные системы телефонной связи, обычно называемые *системами радиотелефонной связи*, а за рубежом – Wireles Local Loop (WLL), в последние годы получили большое развитие.

ЛЕКЦИЯ 7

Основные характеристики и особенности организации каналов связи. Принципы организации односторонних и двухсторонних каналов. Устойчивость телефонного канала. Дифференциальная система.

Передача первичных сигналов от одного абонента к другому осуществляется с помощью электромагнитных сигналов, которые передаются по каналам связи. Линии связи обычно являются наиболее дорогостоящей частью систем передачи (СП) и отличаются большим разнообразием – это воздушные, кабельные, радиорелейные, спутниковые, волоконно-оптические (ВОЛС) и другие линии. С помощью СП осуществляется одновременная и взаимно независимая передача сообщений от № абонентов, расположенных в пункте А, к абонентам, расположенным в пункте Б.

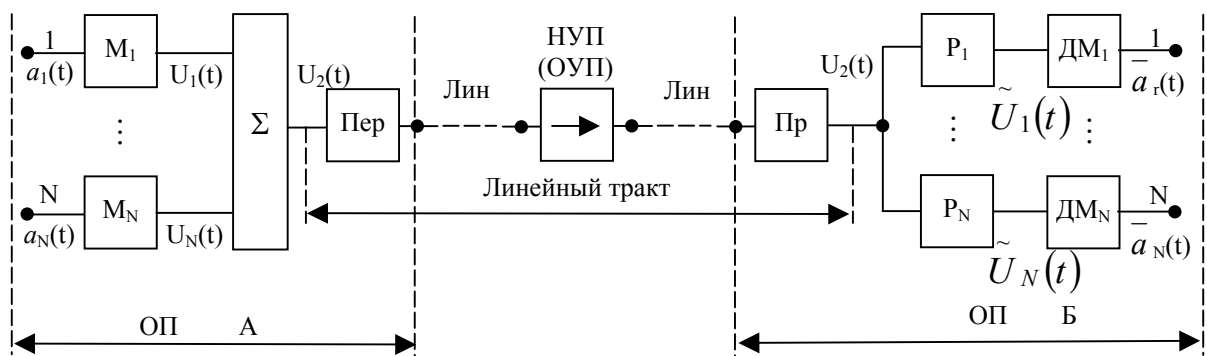


Рис. 1. Структурная схема системы передачи

Первичные сигналы (рис. 1) $a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)$ от N абонентов поступают на входы N каналов оборудования оконечного пункта (ОП А). В каждом канале с помощью соответствующего модулятора M первичный сигнал $a_i(t)$ преобразуется в канальный $U_i(t)$ и на выходе сумматора действует групповой сигнал

$$U_2(t) = \sum_{i=1}^N U_i(t).$$

Необходимость преобразования $a_i(t)$ в $U_i(t)$ обусловлена тем, что первичные сигналы $\{a_i(t)\}$ не обладают свойством разделимости. Поэтому в передающей части системы сигналы отдельных каналов наделяются некоторыми заранее обусловленными признаками, которые должны быть такими, чтобы в приемной части системы сигналы могли быть различены и разделены. Передающая часть (Пер) оборудования оконечного пункта преобразует групповой сигнал в линейный который поступает в линию связи. Это преобразование обусловлено большим разнообразием линий. Поэтому при формировании линейного сигнала из группового необходимо учитывать свойства соответствующей линии связи, и в частности рабочий диапазон частот, уровни передаваемых и принимаемых сигналов, а также помех.

Для устранения влияния линий связи и возникающих помех на форму сигнала и их ослабление, линию связи разбивают на отдельные участки в конце которых устанавливаются обслуживаемые или необслуживаемые промежуточные усилительные пункты – ОУП, НУП.

Приемная часть (Пр) ОП станции Б, во-первых, выполняет функции оборудования ОУП, во-вторых, преобразует линейный сигнал в групповой, далее с помощью разделите-

лей ($P_1 \dots P_N$) и демодуляторов $ДМ_1 \dots ДМ_N$ каналные сигналы преобразуются в первичные и поступают на выходы каналов.

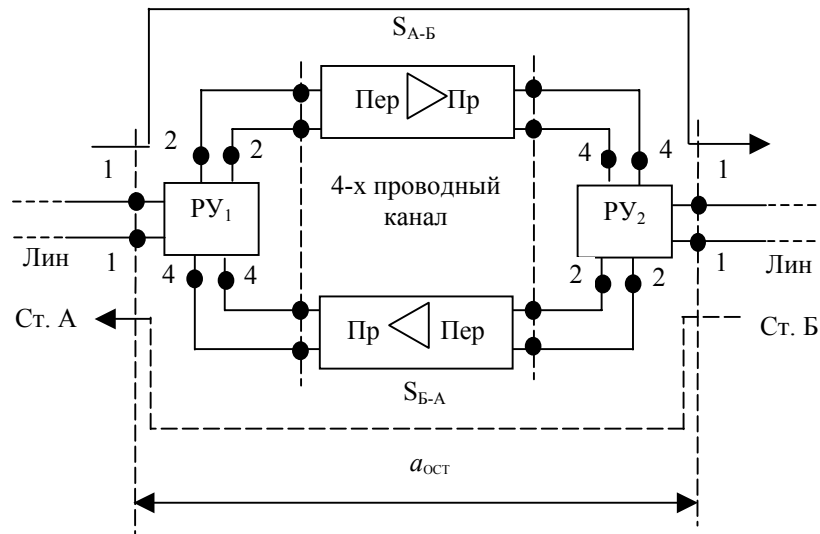


Рис. 2. Структурная схема канала

Системы передачи обеспечивают передачу сигналов одновременно как от абонентов станции А к абонентам станции Б, так и в противоположном направлении. Четырехпроводный канал (рис. 2) состоит из двух каналов однонаправленного действия, в которых сигналы, проходят от передающих зажимов к приемным, усиливаются усилителями S_{A-B} и S_{B-A} и поступают в развязывающие устройства РУ, обеспечивающие преобразование четырехпроводного канала в двухпроводный. Пути прохождения сигналов от линейных зажимов 1-1 РУ станции А к линейным зажимам 1-1 РУ станции Б, а также в противоположном направлении показаны с помощью сплошной и штриховой линий. Затухание сигналов между линейными зажимами станций А и Б носит название *остаточного затухания* двухпроводного канала: $a_{ост} = a_{1-2} - S_{A-B} + a_{4-1}$, где a_{1-2} , a_{4-1} - затухания сигналов между соответствующими зажимами РУ, а усиление четырехпроводной части канала S_{A-B} или S_{B-A} выбирается в зависимости от направления передачи. Очевидна целесообразность того, чтобы затухания a_{1-2} и a_{4-1} были минимальными.

Основная трудность при организации перехода от четырех- к двухпроводному каналу с помощью РУ состоит в появлении петли обратной связи (рис. 3). Сигнал, попадая в двухпроводный канал начинает циркулировать по петле ОС, что приводит к искажениям формы сигналов и в пределе – к самовозбуждению канала.

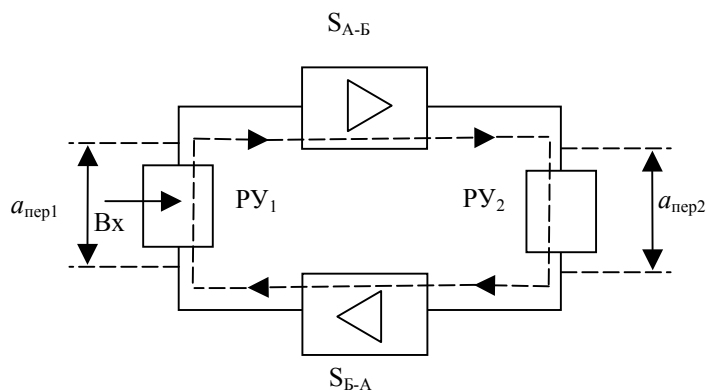


Рис. 3. К пояснению принципа возникновения ОС

Рассмотрим процесс многократного прохождения сигнала по петле ОС (рис. 4). В качестве точки рассмотрения выбраны выходные зажимы четырехпроводного канала на станции Б. Пусть в рассматриваемой точке петли ОС возникло напряжение U_1 , которое после однократного прохождения по петле ОС преобразовалось в напряжение U_2 , затем после повторного прохождения в U_3 и т.д.

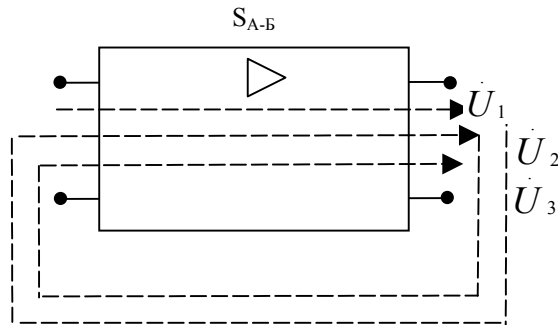


Рис. 4. К анализу влияния ОС на АЧХ канала

Коэффициент передачи петли обратной связи. $K(\omega) = Ke^{j\varphi(\omega)}$. Для упрощения полагаем, что модуль $K(\omega)$ имеет на всех частотах рабочего диапазона канала одинаковую величину K . Тогда $\dot{U}_2 = Ke^{j\varphi(\omega)} \dot{U}_1$; $\dot{U}_3 = Ke^{j\varphi(\omega)} \dot{U}_2 = [Ke^{j\varphi(\omega)}]^2 \dot{U}_1$ и т.д. Суммарное напряжение на выходе четырехпроводного канала

$$\dot{U}_\Sigma = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 + \dots = [1 + Ke^{j\varphi(\omega)} + (Ke^{j\varphi(\omega)})^2 + \dots] \dot{U}_1$$

Эта сумма является суммой членов геометрической прогрессии, которая стремится к конечному пределу, если $K < 1$. В этом случае $\dot{U}_\Sigma = \dot{U}_1 / (1 - Ke^{j\varphi(\omega)})$. При $K \geq 1$ $\dot{U}_\Sigma \rightarrow \infty$, что указывает на явление самовозбуждения в канале. За счет многократного прохождения по петле ОС, остаточное затухание двухпроводного канала изменяется на величину $\Delta a_{oc}(\omega) = 20 \lg |1 - Ke^{j\varphi(\omega)}|$. Затухание, которое претерпевает сигнал, проходя от зажимов 4-4 к зажимам 2-2 РУ называется переходным. Из рис. 3 следует, что затухание петли ОС $a_{oc} = a_{nep1} + a_{nep2} - S_{A-B} - S_{B-A}$. Величина a_{oc} - называется *запас устойчивости*, и если $a_{oc} < 0$, то $K \geq 1$ и канал самовозбуждается.

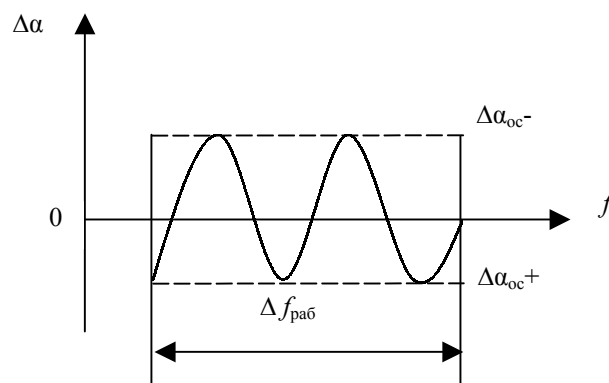


Рис. 5. График зависимости Δa_{oc} от частоты

Зависимость $\Delta a(f)$ имеет вид рис. 5 т.е. в рабочем диапазоне частот канала $\Delta f_{\text{раб}}$ обычно содержит поддиапазоны с положительной и отрицательной ОС, а $a_{\text{ост}}(\omega) = a_{1-2} + a_{4-1} + \Delta a(\omega) - S_{\substack{A-B \\ (B-A)}}$, т.е. в рабочем диапазоне частот остаточное затухание канала принимает различные значения, что приводит к искажениям формы передаваемых сигналов. Неравномерность остаточного затухания $\Delta a_{\text{oc}+}$ и $\Delta a_{\text{oc}-}$ нормируется следующим образом: $\Delta a_{\text{oc}+} \leq 0,6$ дБ; $\Delta a_{\text{oc}-} \leq 0,6$ дБ. Эти нормы обеспечиваются, если запас устойчивости $a_{\text{oc}} \geq 24$ дБ.

В качестве РУ в каналах широко используется дифференциальная система (ДС), выполненная на основе трансформатора со средней точкой (рис.6).

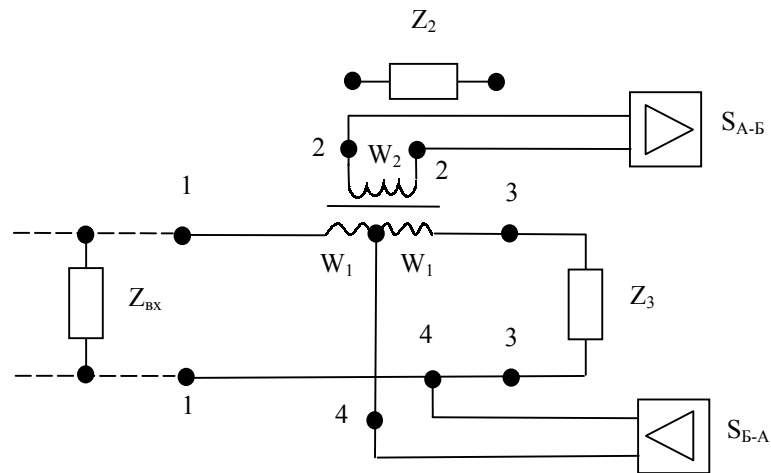


Рис. 6. Схема трансформаторной ДС

Рассматривая работу ДС в двух режимах: когда абонент станции А слушает и когда абонент станции А говорит и предполагая, что трансформатор идеален и потери в нем отсутствуют можно отметить: так как полуобмотки намотаны на сердечник таким образом, что магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 направлены встречно и взаимноуничтожаются, то ни в одной из обмоток трансформатора не возникнет ЭДС и энергия подводимая к зажимам 4-4 (абонент Б говорит), не выделяется на зажимах 2-2.

Такая ДС называется *сбалансированной* в направлении 4-2. Условие баланса $Z_{\text{ex}} = Z_3$, при этом половина подводимой к сбалансированной ДС мощности выделяется на сопротивлении Z_{ex} и поступит к абоненту, а другая половина мощности бесполезно выделяется на сопротивлении Z_3 . Таким образом, ДС вносит в тракт прохождения сигнала затухание $a_{4-1} = 10 \lg 2 = 3$ дБ.

В случае когда абонент станции А говорит, а ДС *сбалансирована* в направлении 1-3, то энергия на зажимах 3-3 не выделяется. Для возникновения баланса в направлении 1-3 необходимо, чтобы $Z_{\text{ex.ТР}} = Z_4$, где $Z_{\text{ex.ТР}} = (W_1/W_2)^2 Z_2$.

Мощность, подводимая к зажимам 1-1 поровну распределяется между равными сопротивлениями $Z_{\text{ex.ТР}}$ и Z_4 , причем имея ввиду идеальность трансформатора, можно считать, что мощность выделяемая на $Z_{\text{ex.ТР}}$ полностью поступает на Z_2 . Затухание ДС между зажимами 1-1 и 2-2 $a_{1-2} = 10 \lg 2 = 3$ дБ.

В реальных каналах ДС работает в условиях согласования как в направлении 1-3, так и в направлении 2-4. Однако необходимо иметь ввиду, что к каналу могут быть подключены различные абонентские линии и условие $Z_{\text{ex}} = Z_3$ носит приближенный харак-

тер. Сопротивление Z_3 , которое называется *балансным*, приближенно отражает свойства входного сопротивления абонентской линии. Можно считать, что входное сопротивление ДС со стороны линейных зажимов 1-1 равно балансному сопротивлению, т.е. $Z_{1-1} = Z\delta$. В несбалансированной ДС при прохождении сигнала от 4-4 к 2-2, сигнал проходит от зажимов 4-4 к 1-1, претерпевая затухание a_{4-1} , затем из-за несогласованного подключения ДС к линии часть энергии отражается от зажимов 1-1 и, претерпевая затухание a_{1-2} , поступает на зажимы 2-2. С учетом этого $a_{4-2} = a_{4-1} + a_{\text{отр.}} + a_{1-2}$, где $a_{\text{отр.}}$ - затухание отражения. После подстановок $a_{4-2} = 20\lg|(Z_{\text{ex}} + Z_{\delta})/(Z_{\text{ex}} - Z_{\delta})| + 6$ дБ. На практике $a_{4-2} \approx 20...40$ дБ.

ЛЕКЦИЯ 10

Особенности формирования, передачи и приема канальных сигналов с применением аналоговых методов передачи (АМ, ЧМ, ФМ). Способы формирования одной боковой полосы при АМ.

В МСП с ЧРК за каждым каналом в линии закрепляется определенный спектр частот, поэтому чем более узкую полосу частот занимают канальные сигналы, тем большее число каналов можно организовать в полосе частот, отведенной для передачи в линии. Это положение легло в основу выбора метода формирования канального сигнала. Кроме того, выбранный метод должен обеспечивать необходимую помехозащищенность.

Формирование канальных сигналов в СП с ЧРК можно осуществить, используя амплитудную – АМ, частотную – ЧМ или фазовую модуляцию – ФМ. Если принять, что в качестве несущей частоты (переносчика) используется гармоническое колебание $U_{\omega} \cos(\omega t + \varphi_{\omega})$, а исходного (модулирующего) сигнала – гармоническое колебание $U_{\Omega} \cos(t + \varphi_{\Omega})$ и приняв фазу несущей и модулирующего колебаний равными нулю, т.е. $\varphi_{\omega} = \varphi_{\Omega} = 0$ получим выражение для модулированных колебаний

$$U_{AM} = U_{\omega} \cos \omega t + \frac{m}{2} U_{\omega} \cos(\omega + \Omega)t + \frac{m}{2} U_{\omega} \cos(\omega - \Omega)t,$$

$$U_{ЧМ} = U_{\omega} \cos(\omega t + m_{ЧМ} \sin \Omega t),$$

$$U_{ФМ} = U_{\omega} \cos(\omega t + m_{ФМ} \cos \Omega t),$$

где m – коэффициент модуляции;

$m_{ЧМ}$, $m_{ФМ}$ – индексы частотной и фазовой модуляции.

Как видно из выражений, при АМ модулированное колебание имеет дискретный спектр, состоящий из колебания несущей частоты ω и двух боковых частот ($\omega \pm \Omega$). Модулированные колебания при ЧМ и ФМ отличаются только начальными фазами и индексами модуляции. На основании этого можно сказать, что для выбранного вида модулирующего сигнала их спектры практически одинаковы. В отличие от АМ при ЧМ и ФМ модулированное колебание имеет бесконечное число дискретных составляющих, образующих верхнюю и нижнюю боковые полосы спектра, симметричные относительно несущей частоты.

Уменьшение индекса модуляции сужает полосу частот необходимую для передачи модулированного колебания. При малом индексе модуляции (значительно меньше 1) спектры ЧМ и ФМ колебаний, так же как и спектр АМ колебания, состоит из несущей частоты ω и двух боковых частот. Следовательно, с точки зрения получения наименьшей ширины полосы частот канального сигнала можно использовать АМ или с малыми индексами модуляции ЧМ и ФМ.

Однако, необходимо отметить, что выигрыш в помехозащищенности при ЧМ и ФМ по сравнению с АМ имеет место лишь при индексе модуляции, превышающем единицу, т.е. тогда, когда спектр модулированного колебания при ЧМ и ФМ становится значительно шире спектра при АМ. Поэтому в проводных СП с ЧРК для формирования канальных сигналов применяется АМ, которая позволяет осуществить передачу одной боковой полосы (ОБП). АМ с передачей ОБП обладает большей помехоустойчивостью, чем ЧМ и ФМ с малыми индексами модуляции, и дает возможность сформировать канальные сигналы наименьшей ширины.

В радиорелейных и спутниковых СП, у которых уровень помех в линии весьма значителен, применяются ЧМ или ФМ с индексами модуляции > 1 , как наиболее помехоустойчивые виды модуляции. В СП дискретных и телеграфных сигналов применяется ЧМ и ФМ. Кроме того, ЧМ применяется в некоторых СП факсимильных сигналов по каналам

ТЧ.

Из выражения для U_{AM} видно, что исходный сигнал содержится только в боковых полосных частотах, поэтому для его восстановления на приеме не обязательно наличие всего спектра АМ колебаний. Учитывая это, формирование канальных сигналов можно осуществлять путем передачи: *двух боковых полос и несущей; одной боковой полосы частот и несущей; двух боковых полос частот без несущей; одной боковой полосы частот без несущей; одной боковой полосы частот, несущей и части второй боковой полосы частот*. Вкратце рассмотрим эти методы с целью определения особенностей организации связи при использовании каждого из них.

Передача двух боковых полос частот и несущей обеспечивает относительно простое получение исходного сигнала на приеме. Для этого достаточно подать АМ сигнал на демодулятор и с помощью фильтра выделить исходный сигнал. Оконечное передающее и приемное оборудование будет относительно простым, канальные фильтры несложные, в приемном оборудовании нет необходимости использовать для демодуляции специальный генератор несущей частоты, так как она передается в составе АМ колебания.

Однако этот метод имеет ряд существенных недостатков, делающих невозможным применение его при формировании канальных сигналов в МСП с ЧРК, работающих на значительные расстояния. Эти недостатки следующие:

- 1) увеличение ширины полосы частот канального сигнала по сравнению с шириной полосы частот исходного информационного сигнала (рис. 1). Если полоса частот исходного сигнала будет $(F_{\min} \dots F_{\max})$, то ширина полосы частот канального сигнала будет $2F_{\max}$. При построении МСП это увеличение приведет к удорожанию линейного тракта.

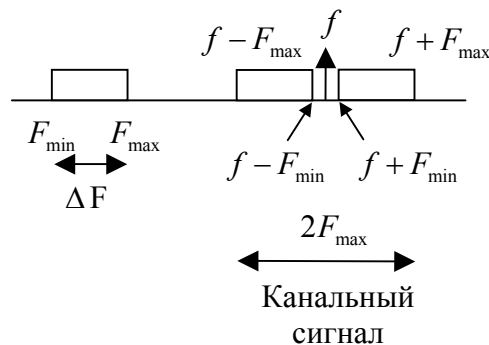


Рис. 1. Передача двух боковых полос частот и несущей

- 2) для уменьшения амплитуд паразитных продуктов преобразования коэффициент модуляции обычно выбирается значительно меньше 1. Из выражения U_{AM} получим, что $P_{\omega} / P_{\omega \pm \Omega} = 4/m^2$. Обычно $m=0,2$ тогда $P_{\omega} / P_{\omega \pm \Omega} = 100$ т.е. мощность канальных усилителей будет определяться в основном мощностью несущего колебания, не содержащего полезный сигнал, что может привести к невозможности использования усилителей, усиливающих многоканальный сигнал, которые должны быть сверхмощными. Выполнить усилители с требуемыми качественными показателями будет очень трудно, они будут энергоемкими, их стоимость будет очень высока.

Поэтому такой метод применяется тогда, когда требуемое число каналов мало, оконечное оборудование должно быть простым и дешевым, дальность связи незначительна, промежуточные усилители отсутствуют. *Пример – одноканальная система передачи АБУ (абонентская высокочастотного уплотнения), работающая по АЛ ГТС.*

Данный метод иногда применяется при передаче по каналам ТЧ информационных

сигналов, спектр которых начинается от нулевой частоты и занимает неширокую полосу частот. В этом случае реализовать метод ОБП невозможно. Примером таких сигналов могут служить факсимильные сигналы и сигналы низкоскоростной передачи данных.

Передача одной боковой полосы частот и несущей позволяет сузить полосу частот канального сигнала в 2 раза (рис. 2). Исходная информация на приеме будет образовываться от взаимодействия переданных боковой полосы частот и несущей. Однако для подавления одной из боковых полос необходимо использовать сложные в реализации канальные фильтры.

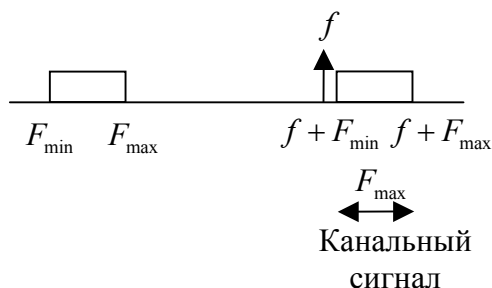


Рис. 2. Передача одной боковой полосы частот и несущей

Применение усилителей для усиления многоканального сигнала при этом методе является еще более сложной задачей, поскольку требуется увеличение соотношения мощностей несущей и одной из боковых полос. При равенстве мощностей передающих устройств помехозащищенность сигнала с подавлением одной боковой полосы будет меньше, чем с передачей двух боковых полос. Из-за этих недостатков данный метод практического применения не нашел.

Передача двух боковых полос без несущей частоты в отличие от методов с передачей несущей частоты позволяет использовать для усиления многоканального сигнала усилители. Отсутствие несущей частоты дает возможность увеличить мощность боковых полос частот и тем самым повысить помехозащищенность сигналов. Однако ширина полосы частот канального сигнала равна $2F_{\max}$ (рис. 3). Это обстоятельство ограничивает применение данного метода при построении МСП, работающие на большие расстояния. Однако он эффективен в МСП местных сетей, когда стоимость 1 кан.-км в основном определяется стоимостью оконечных устройств. Эта стоимость снижается, так как нет необходимости использовать сложные и дорогие канальные фильтры. Однако, при описываемом методе восстановление исходного сигнала на приеме затрудняется необходимостью соблюдения строгой синхронности и синфазности несущих частот на передаче и приеме. При несоблюдении этого требования прием сигнала будет невозможен.

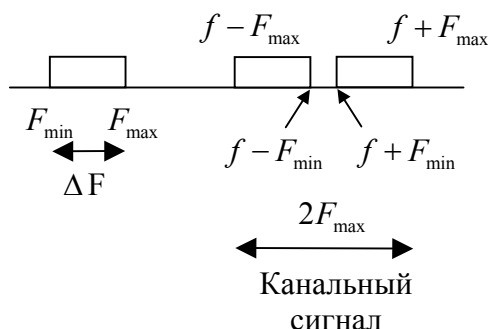


Рис. 3. Передача двух боковых полос без несущей частоты

Передача одной боковой полосы обеспечивает наименьшую возможную ширину

спектра канального сигнала, равную ширине спектра исходного сигнала (рис. 4), что позволяет наиболее экономно реализовать линейный спектр частот СП.

При передаче ОБП в результате модуляции происходит только перемещение сигнала по шкале частот. Такой метод модуляции называют *преобразованием частоты*, а модуляторы и демодуляторы, используемые в аппаратуре – *преобразователями частоты*.

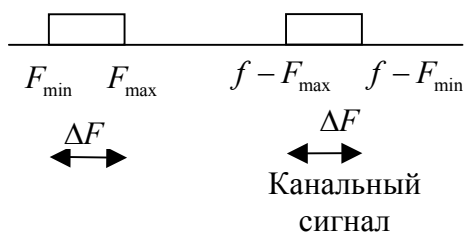


Рис. 4. Передача одной боковой полосы

Подавление несущей частоты, мощность которой значительно превышает мощность боковой полосы частот, дает возможность с помощью усилителей одновременно усиливать сигналы всех каналов СП. Это является экономически выгодным, т.к. уменьшается объем оборудования. Передача ОБП позволяет при заданной мощности усилителей увеличить ее мощность и тем самым повысить помехозащищенность сигналов.

Отмеченные достоинства определяют его преимущественное применение для формирования канальных сигналов в проводных МСП с ЧРК.

Недостаток – необходимость подавления несущей и неиспользуемой боковой полосы частот на передаче и восстановление несущей частоты на приемной станции, что приводит к усложнению оконечного оборудования МСП, поскольку расхождение несущих частот обуславливает смещение спектра восстановленного на приеме исходного сигнала. Это явление называется *изменением частоты передаваемого сигнала* в канале. Изменение частоты приводит к ухудшению качества передаваемой по каналу информации. При передаче речевой информации снижается разборчивость, при передаче музыкальных программ изменяется характер звучания отдельных музыкальных инструментов, при передаче сигналов тонального телеграфа увеличиваются ошибки в виде преобладаний в приемнике сигналов. Так как каналы современных МСП используются для передачи различных сигналов, то предельное изменение частоты в них не должно быть больше 2 Гц. Это сильно усложняет построение генераторного оборудования МСП с ЧРК.

Расхождение фаз несущих частот на передающей и приемной станциях не влияет на качество передаваемых сигналов, что не требует соблюдения условия синфазности несущих частот.

Передача одной боковой полосы частот, несущей и части второй боковой полосы частот используется, когда спектр исходного сигнала начинается от очень низких частот, близких к нулю. К сигналам такого вида относятся сигналы телевидения и факсимильный. При реализации этого метода передачи канальный фильтр должен иметь кососимметричную характеристику коэффициента передачи относительно несущей частоты.

Методы формирования ОБП.

При передаче ОБП необходимо подавить несущую и вторую боковую полосу частот, несущая частота устраняется непосредственно в схемах преобразователей, которые с этой целью выполняются по балансным или двойным балансным схемам. Несущая на выходе таких схем будет отсутствовать при соблюдении условий баланса схем. Так как выполнить данные условия практически не удается, то к фильтрам, подавляющим вторую боковую полосу, обычно предъявляют некоторые дополнительные требования к затуханию на частоте несущего колебания; оно должно быть на 9 дБ выше затухания фильтра в полосе пропускания.

Устранение неиспользуемой боковой полосы можно осуществить фильтровым,

фазоразностным и фазофильтровым методами. Последний метод в МСП с ЧРК применения не нашел. Наибольшее распространение получил **фильтровый метод**, при котором неиспользуемая боковая полоса частот подавляется полосовым фильтром, включенным на выходе преобразователя. Если учесть, что в современных МСП интервал между несущими частотами соседних каналов составляет 4 кГц, то требования к затуханию в полосе непропускания таких фильтров должны быть очень высокие. Объясняется это тем, что неиспользуемая боковая полоса частот любого канала практически полностью совпадает с полезной боковой полосой соседнего канала. Поэтому если затухание в полосе непропускания фильтра будет недостаточным, то в соседнем канале появится помеха в виде переходного сигнала.

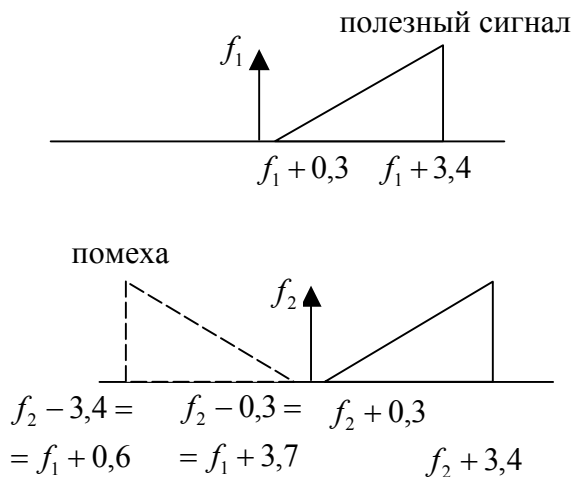


Рис. 5. Формирование ОБП фильтровым методом

На рис. 5 f_1 и f_2 – несущие частоты соседних каналов, причем $f_2 - f_1 = 4$ кГц. Полоса частот модулирующего сигнала равна 0,3...3,4 кГц. Примем, что полезными боковыми полосами являются верхние боковые. Тогда неиспользуемая нижняя боковая полоса канала с несущей f_2 будет иметь граничные частоты $(f_2 - 3,4) = f_1 + 4 - 3,4 = (f_2 + 0,6)$ кГц и $(f_2 - 0,3) = f_1 + 4 - 0,3 = (f_2 + 3,7)$ кГц, т.е. практически совпадает с полезной боковой полосой первого канала. Расчет и опыт эксплуатации показывают, что при интервале между несущими частотами соседних каналов, равных 4кГц, неиспользуемая боковая полоса должна иметь затухание, превышающее затухание в полосе пропускания фильтра, не менее чем на 60 дБ. Главная трудность выполнения этого требования заключается в относительно малом промежутке между ДБП, который составляет 0,6кГц. Трудность реализации фильтра возрастает с увеличением частоты несущего колебания, т.к. уменьшается относительная полоса расфилтровки $0,6\text{кГц}/f_{\text{нес}}$. При этом повышаются требования к относительной крутизне нарастания затухания фильтров. Поэтому в зависимости от относительной полосы расфилтровки фильтры выполняются с использованием различных элементов.

Например, если частота несущего колебания не превышает 30...40кГц, то фильтры обычно выполняются на LC–элементах. При более высоких значениях несущей частоты используются фильры на элементах с большой добротностью – кварцевые, магнитострикционные или электромеханические.

Снижение стоимости оконечных станций возможно при отказе от фильтрового способа подавления неиспользуемой боковой полосы частот и переходе к фазоразностному методу подавления при котором степень подавления неиспользуемой боковой полосы частот независит от значения частоты несущего колебания. Поэтому этот метод может быть применен при преобразовании исходных сигналов в область очень высоких частот.

ЛЕКЦИЯ 11

Принципы многократного группового преобразования частоты в СП с ЧРК. Принципы организации систем двусторонней связи. Основные виды помех в каналах и трактах проводных МСП с ЧРК.

В МСП с ЧРК, как уже отмечалось, исходным (первичным) сигналом разных каналов в линейных трактах отводятся определенные полосы частот. Для преобразования спектров первичных сигналов в отводимые для них полосы частот линейного тракта на передающей станции применяются модуляторы. На приемной станции разделение каналов выполняется каналами ПФ. Для восстановления исходных сигналов используются демодуляторы, включаемые на выходе канальных ПФ. При этом помимо полезных частотных составляющих появляются побочные продукты преобразования большую часть которых подавляется фильтрами, включаемыми на выходах модуляторов и демодуляторов. Таким образом, основой построения МСП с ЧРК является преобразование сигналов, осуществляемое с помощью нелинейных или параметрических устройств с применением электрических фильтров. Кроме того, для увеличения дальности связи в системах передачи используются усилители.

Возможны три метода построения МСП: *индивидуальный, групповой и смешанный*.

При *индивидуальном способе* перечисленные выше и другие устройства для каждого канала являются отдельными и повторяются в составе оконечной и промежуточной аппаратуры столько раз, на сколько каналов рассчитана система передачи. Учитывая, что каналы в линейном тракте занимают строго определенные полосы частот, однотипные устройства разных каналов должны рассчитываться на разные частоты. Однако использование в составе оборудования оконечных и промежуточных станций отдельных разнотипных для каждого канала элементов делает это оборудование громоздким. Разнотипность устройств каждого канала не позволяет стандартизировать аппаратуру, что затрудняет ее массовое производство и повышает стоимость.

При построении МСП по индивидуальному методу ограничиваются дальность действия и канальность системы. Малоканальность таких СП объясняется невозможностью создания канальных ПФ с идентичными характеристиками в широком диапазоне частот.

К достоинствам таких систем можно отнести: возможность постепенного наращивания числа каналов и простоту выделения любого числа каналов на промежуточных станциях.

Перечисленные недостатки практически отсутствуют при *групповом методе*, который используется при построении современных МСП с ЧРК. В этом случае N каналов разбивается на m групп по K каналов, т.е. $Km = N$. В каждой группе сигнал каждого канала подвергается индивидуальному преобразованию с помощью несущих частот $\omega_{n1}, \omega_{n2}, \dots, \omega_{nk}$. Во всех группах это преобразование однотипно, поэтому на выходе каждой группы образуется один и тот же спектр частот. Групповые спектры подвергаются затем групповому преобразованию с несущими $\omega_{gp1}, \omega_{gp2}, \dots, \omega_{gpm}$, так что после объединения преобразованных групповых сигналов образуются спектр частот N каналов. Таким образом, при этом методе уменьшается число разнотипных канальных ПФ в составе оконечного оборудования, т.е. появляется возможность создания фильтров с однородными характеристиками и построения систем практически любой канальности.

Наличие на промежуточных станциях одного усилителя для усиления сигналов во всех каналах не требует применения канальных фильтров – основных источников АЧИ, приводящих к сужению эффективно передаваемой полосы частот канала. Поэтому воз-

можно включение очень большого числа промежуточных усилителей, т.е. осуществления связи практически на любые расстояния. Промежуточная аппаратура СП, построенных таким образом проще, а следовательно, и дешевле. Кроме того, групповой принцип построения СП позволяет стандартизировать значительную часть оборудования оконечной аппаратуры разной канальности.

Существенным недостатком группового метода построения МСП является необходимость установки всего оборудования вне зависимости от требуемого числа каналов на текущий момент, а также специальной аппаратуры выделения в промежуточных усилительных пунктах для осуществления связи этого пункта с другими пунктами магистрали.

Ранее было показано, что канал двухстороннего действия объединяет два самостоятельных усилительных направления. Для организации этих самостоятельных направлений линейные тракты МСП строятся либо **четырёхпроводными однополосными**, либо **двухпроводными двухполосными**, либо **двухпроводными однополосными**.

При **четырёхпроводном однополосном** построении используются две двухпроводные цепи для передачи сигналов в разных направлениях. По каждой из цепей сигналы передаются в одном и том же диапазоне частот ($f_1 \dots f_2$). Этот метод построения является основным для кабельных СП.

При **двухпроводном двухполосном** построении используется одна двухпроводная цепь, по которой передача сигналов в двух направлениях осуществляется в разных диапазонах частот $f_1 \dots f_2$ и $f_3 \dots f_4$. Разделение этих диапазонов на оконечных и промежуточных станциях осуществляется направляющими фильтрами (НФ), которые являются фильтрами нижних и высоких частот с одной и той же частотой среза. Такой принцип построения линейного тракта применяется, когда направляющей средой является воздушная линия или однокоаксиальный кабель (ВКПП и ВКПА).

В одноканальных СП линейный тракт строится как **двухпроводный однополосный**. Передача сигналов в обоих направлениях осуществляется по двухпроводной цепи в одной и той же полосе частот **300...3400 Гц**. Для разделения направляющих передачи на оконечных и промежуточных станциях предусмотрены дифсистемы. Более одного канала организовать в этом случае не удастся из-за трудностей балансировки дифсистем в широкой полосе частот. Кроме того, дальность действия СП при таком построении линейного тракта ограничена, т.к. обратная связь возникает не только внутри каждого усилителя двухстороннего действия, но и в результате взаимодействия их друг с другом. За счет этого токи ОС в каждом из усилителей двухстороннего действия увеличиваются, снижая устойчивость канала. Для увеличения устойчивости канала приходится уменьшать усиление усилителей, при этом число включаемых в тракт усилителей двухстороннего действия не может превышать пяти. Из-за отмеченных недостатков такое построение линейного тракта в настоящее время применяется крайне редко.

Помехи

Помехой называют посторонние электрические колебания, мешающие нормальному приему сигналов. В зависимости от характера воздействия на сигнал помехи подразделяются на аддитивную и мультипликативную. **Аддитивная** помеха представляет собой случайный сигнал, который накладывается на полезные сигналы, передаваемые по каналам (трактам) передачи. Действие аддитивной помехи описывают следующим образом: $U(t) = U_c(t) + U_{\Pi}(t)$, где $U_c(t)$ - напряжение полезного сигнала; $U_{\Pi}(t)$ - напряжение помехи; $U(t)$ - суммарное напряжение на выходе канала. **Мультипликативная** помеха обуславливается случайными изменениями коэффициента передачи канала в зависимости от времени: $U_p(t) = U_c(t) \cdot U_{\Pi}(t)$, где $U_p(t)$ - результирующее напряжение на выходе канала.

Кроме того, помехи можно классифицировать следующим образом:

- 1) В зависимости от места возникновения помехи делятся на внутренние и внешние. К **внутренним** помехам, возникающим в узлах аппаратуры, относятся: собственные помехи; помехи нелинейного происхождения; помехи из-за по-

путных потоков; плохих контактов в местах соединений, переключений трактов. **Внешние** помехи обусловлены действием внешних источников помех: линейных переходов с параллельно проходящих цепей связи; линий электропередачи и электрофицированных железных дорог; промышленных установок; атмосферы; фона электропитающих установок; микрофонного эффекта.

- 2) В зависимости от формы помехи могут быть непрерывными и импульсными. **Непрерывные** по форме помехи характеризуются неравенством $U_{\max} > (3 \dots 10)U_{cp}$, а импульсные – неравенством $U_{\max} > (100 \dots 1000)U_{cp}$, где U_{\max} - максимальное, а U_{cp} - среднее напряжение сигнала помехи.
- 3) В зависимости от спектра помехи могут быть сплошными или дискретными (селективными). Сигнал **сплошной** помехи характеризуется распределением его мощности по широкому спектру частот (белый шум). **Селективная** помеха характеризуется тем, что ее мощность сосредоточена либо на одной частоте, либо в очень узкой полосе частот.
- 4) По мешающему действию при передаче речи помехи подразделяются на шум и переходный разговор. Шум маскирует слабые звуки речи и тем самым уменьшает разборчивость передачи. **Переходный** разговор может быть невнятным и внятным. Прослушивание **внятного** чужого разговора отвлекает внимание абонентов и нарушает секретность связи, **невнятный** переходный разговор резко увеличивает шум в канале связи. При передаче дискретной информации мешающее действие помех приводит к ошибкам при приеме информации, уменьшает ее достоверность.

Для оценки действия помех могут использоваться следующие параметры.

Защищенность $A_3 = 10 \lg(P_C/P_{\Pi})$ или $A_3 = 20 \lg(U_C/U_{\Pi})$, где P_C , U_C , P_{Π} , U_{Π} – мощности и напряжения сигнала и помех соответственно. Защищенность вычисляют также через уровни мощности сигнала и помехи: $A_3 = P_C - P_{\Pi}$.

Коэффициент шума $D = \frac{P_{C_{\text{вх}}}/P_{\text{Пвх}}}{P_{C_{\text{вых}}}/P_{\text{Пвых}}}$ физически эта величина показывает, во

сколько раз уменьшается отношение мощности сигнала к мощности помехи при включении в тракт передачи сигнала данного четырехполосника.

Потери шумозащищенности $d = 10 \lg D = A_{3_{\text{вх}}} - A_{3_{\text{вых}}}$, где $A_{3_{\text{вх}}}$, $A_{3_{\text{вых}}}$ - защищенность на входе и выходе четырехполосника.

Оценка помех с помощью **псофометрического напряжения** производится при передаче речи по ТФ каналам или каналам РВещания. Поскольку чувствительность системы «**телефон-ухо**» неодинакова для разных частот спектра воспринимаемых сигналов, а максимум чувствительности приходится на полосу частот **800-2000 Гц**, то если в ТФ канале действует помеха ее спектральные составляющие также по-разному воспринимаются системой «**телефон-ухо**». **Отсюда и возникло определение псофометрического напряжения помех: это такое напряжение с частотой 800 Гц, которое по своему мешающему воздействию эквивалентно реально действующей помехе.** Следовательно, псофометрическое напряжение в канале всегда меньше действующего: $U_{\text{пс}} = K_{\text{пс}}U$, где $K_{\text{пс}} < 1$ псофометрический коэффициент. Для канала ТЧ $K_{\text{пс}} = 0,75$. Для измерения $U_{\text{пс}}$ применяют псофометр-вольтметр с квадратичным детектором. На входе вольтметра включен фильтр, АЧХ затухания которого соответствует требованиям МККТТ.

С целью обеспечения высокого качества передачи информации как по национальной, так и по международной сети связи по рекомендации МККТТ нормирование помех производится для каналов ТЧ эталонной цепи. Протяженность цепи для кабельной, воздушной, радиорелейной линий связи составляет 2500 км, а ее структура (т.е. число и тип переопределений) зависит от типа кабеля и применяемой системы передачи. Согласно требованиям МККТТ в точке нулевого относительного уровня (ТНОУ) на выходе канала ТЧ эталонной кабельной цепи мощность всех видов помех не должна превышать

эталонной кабельной цепи мощность всех видов помех не должна превышать $P_{\Sigma} = 10000$ пВт, причем $P_{\Sigma}(0) = P_{\text{п.п.о}}(0) + P_{\text{п.л.т}}(0)$, где $P_{\text{п.п.о}}$ - мощность помех в ТНОУ канала ТЧ, вносимых преобразовательным оборудованием оконечных и переприемных станций; $P_{\text{п.л.т}}$ - мощность помех в этой же точке, вносимых линейным трактом. Для эталонной цепи $P_{\text{п.п.о}}(0) = 2500$ пВт псоф, а $P_{\text{п.л.т}}(0) = 7500$ пВт псоф, т.е. каждый км линейного тракта вносит мощность помех $P_{\text{п.л.т}}(0)/1\text{км} = 7500$ пВт псоф/2500км = 3пВт псоф (по норме МККТТ). Для современных систем передачи эта норма более жесткая от 1 до 1,5 пВт псоф.

К **собственным помехам** относятся шумы флюктуационного характера: тепловой, из-за дробового эффекта в электронных лампах и транзисторах и полупроводниковый.

Нелинейные помехи. Источниками нелинейных помех (помехи нелинейного происхождения) являются узлы групповых устройств, содержащие нелинейные элементы, т.е. элементы, ВАХ которых не подчиняются закону Ома – диоды, транзисторы, катушки с ферромагнитными сердечниками. В линейных трактах СП основными источниками нелинейных помех являются нелинейные усилители. Так как число ЛУс в линейном тракте весьма велико, эти помехи накапливаясь от участка к участку могут резко ухудшить качество каналов и трактов СП.

Методы применяемые для уменьшения влияния нелинейных помех имеют целью предотвратить перегрузку ЛУс. Эти методы можно разделить **на организационные и технические**.

Организационные методы: - нормирование в ТНОУ каналов ТЧ средней мощности $P_{\text{ср}}$ сигналов различных видов информации. $P_{\text{срТФ}} = 32$ мкВт, $P_{\text{срЗВ}} = 920$ мкВт. Распределение каналов ТЧ, занятых под передачу различных видов информации, при котором максимальная средняя мощность в ТНОУ в линейном тракте не превышает допустимых значений.

Технические методы: введения в ЛУс, глубокой ООС. При этом затухание нелинейности в ЛУс $<$ ООС A'_{n2} увеличивается. $A'_{nT} = a_{nT} + B$, где B – глубина ООС, n – номер гармоники, a_{n2} - затухание нелинейности в ЛУс без ООС.

Включение ограничителей амплитуд (ОА) на входе индивидуального модулятора каждого канала, ОА ограничивают пиковые значения сигналов.

Импульсные помехи – кратковременное импульсное напряжение, амплитуда которых значительно превышает амплитуду полезного сигнала. Источники - кратковременные обрывы в канале из-за ненадежных контактов в коммутирующих устройствах, плохих паяек, грозовые разряды в районе залегания кабеля, значительные перегрузки ЛТтракта, приводящие к возникновению случайных импульсных последовательностей, высоко вольтные линии передачи и электрофицированные железные дороги.

Атмосферные помехи – основной вид помех в каналах ТЧ АСП на воздушных линиях. Это грозовые разряды, магнитные, песчаные, снежные бури, полярное сияние и т.д.

Для уменьшения влияния атмосферных помех, т.е. повышения защищенности используется включение **компандеров** в каналы ТЧ, однако при этом нелинейные искажения, т.к. и К и Э содержат нелинейные элементы.

ЛЕКЦИЯ 12

Принципы построения СП с временным разделением каналов (ВРК). Основные этапы преобразования аналоговых сигналов в цифровые (дискретизация по времени, квантование по уровню, кодирование). Равномерное и неравномерное квантование, защищенность от шумов квантования

В большинстве развитых стран мира принят курс на цифровизацию сетей связи, предусматривающий построение сети на базе цифровых методов передачи и коммутации. Это объясняется следующими существенными преимуществами цифровых методов передачи перед аналоговыми.

Высокая помехоустойчивость, слабая зависимость качества передачи от длины линии связи, стабильность параметров каналов ЦСП, эффективность использования пропускной способности каналов для передачи дискретных сигналов, возможность построения цифровой сети связи, высокие технико-экономические показатели.

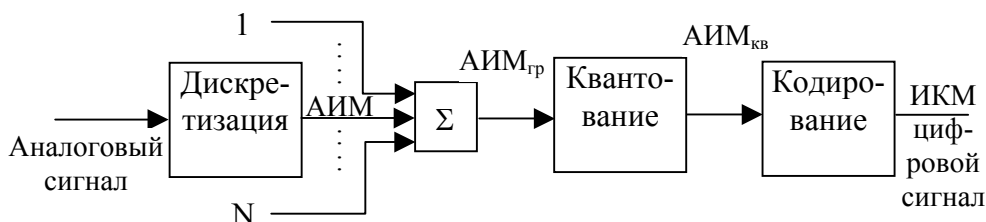


Рис. 1. Принципы формирования цифрового группового сигнала

Рассмотрим передачу ТФ сигналов по каналам ЦСП с ВРК при использовании импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). В этом случае формирование группового цифрового сигнала предусматривает последовательное выполнение следующих основных операций (рис. 1):

- дискретизация индивидуальных сигналов по времени, в результате чего формируется импульсный сигнал, промоделированный по амплитуде, т.е. АИМ сигнал;
- объединения N индивидуальных АИМ сигналов в групповой АИМ сигнал с использованием принципов временного разделения каналов;
- квантования группового АИМ сигнала по уровню;
- последовательного кодирования отсчетов группового АИМ сигнала, в результате чего формируется групповой ИКМ сигнал, т.е. цифровой сигнал.

В системах передачи с ВРК, каждый каналный сигнал представляет собой периодическую последовательность импульсов, промодулированных исходным сигналом по амплитуде, т.е. используется амплитудно-импульсная модуляция (АИМ).

Таким образом, в процессе формирования АИМ сигнала осуществляется дискретизация непрерывного (аналогового) сигнала по времени в соответствии с известной теоремой дискретизации (теоремой Котельникова): любой непрерывный сигнал, ограниченный по спектру верхней частотой F_v , полностью определяется последовательностью своих дискретных отсчетов, взятых через промежуток времени $T_d \leq \frac{1}{2} F_v$, называемый *периодом дискретизации*. В соответствии с этим частота дискретизации, т.е. следования дискретных отсчетов, выбирается из условия $F_d \geq 2F_v$.

Сигналы АИМ подразделяются на два рода: сигнал первого АИМ-I (рис. 2а) и сигнал второго АИМ-II (рис. 2б).

Мгновенное значение амплитуды импульсов АИМ-I сигнала зависит от мгновенного значения модулирующего колебания $c(t)$, а амплитуда импульсов АИМ-II сигнала определяется только значением модулирующего колебания в тактовых точках (рис. 2б).

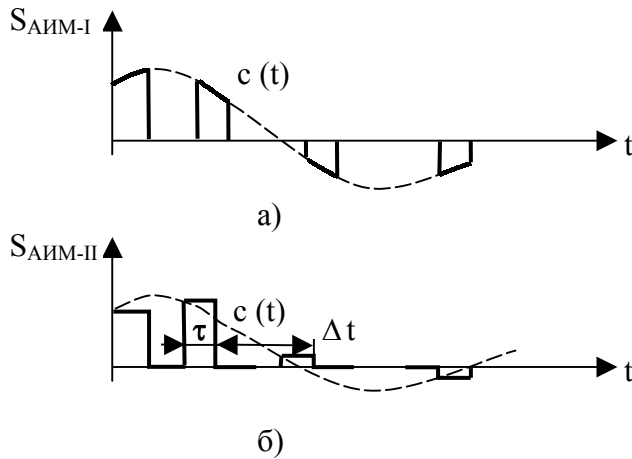


Рис .2. К пояснению принципов формирования АИМ-I и АИМ-II

Различие между сигналами АИМ-I и АИМ-II оказывается существенным, если длительность импульсов τ сравнима с периодом их следования Δt .

Поскольку все реально существующие непрерывные сигналы связи представляют собой случайные процессы с бесконечно широким спектром, причем основная энергия сосредоточена в относительно узкой полосе частот, перед дискретизацией на передаче необходимо с помощью фильтра нижних частот ограничить спектр канала некоторой частотой F_B . Для ТФ сигналов необходимо использовать ФНЧ с частотой среза $F_B = 3,4$ кГц.

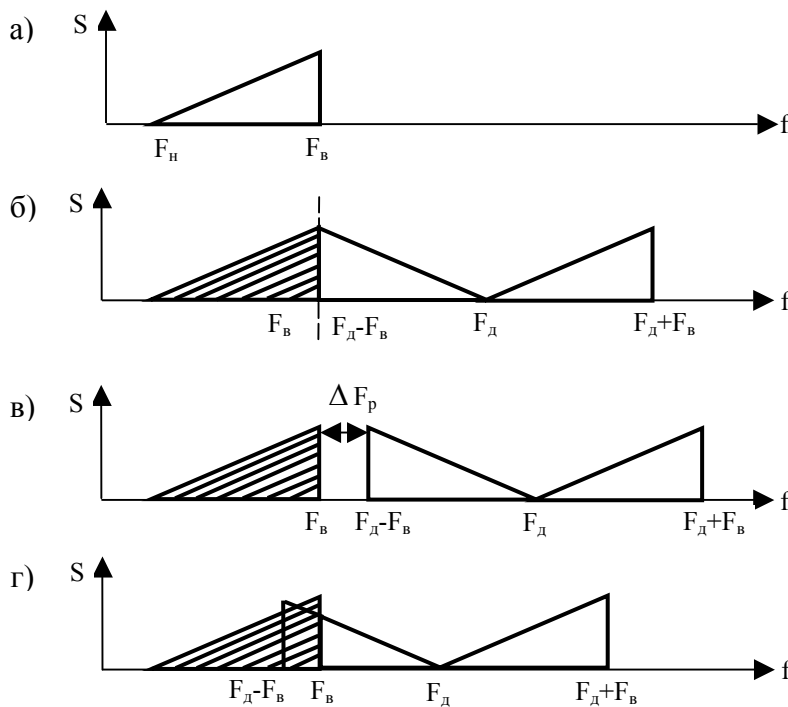


Рис. 3. Влияние частоты дискретизации на возможность восстановления сигнала с помощью фильтра

Рассмотрим требования, предъявляемые к выбору частоты дискретизации, с точки зрения возможности выделения первичного сигнала при приеме за счет использования фильтрации низкочастотной части спектра. На рис. 3а изображен спектр первичного сиг-

нала, а на рис. 3б-г – спектры $S_B(F)$ при разных соотношениях между F_B и F_D . Если в соответствии с теоремой Котельникова выбрана $F_D = 2F_B$, то частоты F_B и $F_D - F_B$ совпадают и спектр первичного сигнала может быть отделен от нижней боковой АИМ сигнала, лежащей в диапазоне от $F_D - F_B$ до F_D ; только с помощью идеального ФНЧ, который физически нереализуем. Поэтому на практике выбирают $F_D > 2F_B$. В этом случае спектры $F_B - F_B$ и $(F_D - F_B) \div F_B$ разнесены и можно выделить первичный сигнал реальным фильтром. Обычно принимают $F_D = (2,3 \div 2,4)F_B$. Так при дискретизации ТФ сигнала со спектром $0,3 \dots 3,4$ кГц $F_D = 8$ кГц. При этом полоса расфилтровки ΔF_p оказывается достаточно большой и составляет $\Delta F_p = (F_D - F_B) - F_B = 1,2$ кГц.

Кроме того, следует иметь в виду, что если на выходе ФНЧ передачи появятся плохо подавленные составляющие исходного сигнала с частотами выше $F_B + \Delta F_p$, то это неизбежно (даже в случае идеального ФНЧ приема) приведет к искажениям сигнала при его восстановлении на приеме.

Как видно из рис. 2 АИМ сигнал является дискретным по времени, но непрерывным по уровню, т.к. амплитуда отсчетов может принимать бесконечное множество значений. Это потребует при кодировании использования кодов с числом разрядов, стремящихся к бесконечности. Поэтому ограничивают число возможных значений амплитуд АИМ отсчетов конечным множеством, содержащим определенное число «разрешенных» уровней N_{KB} . Это достигается в процессе квантования сигнала по уровню, при котором истинное значение каждого АИМ отсчета заменяется ближайшим разрешенным значением. Значение N_{KB} зависит от вида передаваемого сигнала и требований к качеству передачи. Помимо общего числа уровней квантования N_{KB} квантующее устройство характеризуется **шагом квантования δ** и **напряжением ограничения $U_{огр}$** . Шагом квантования δ называют разность между двумя соседними разрешенными уровнями, а $U_{огр}$ определяет максимальное значение амплитуды отсчета, подвергаемого квантованию. Необходимо, чтобы вероятность появления отсчета с амплитудой выше $U_{огр}$ была пренебрежимо мала. Очевидно $\delta = U_{огр} / N_{KB}$. Если шаг квантования во всем диапазоне изменений амплитуды сигнала остается постоянным, т.е. $\delta = \text{const}$, то квантование называется **равномерным**. Если в пределах шкалы шаг квантования не остается постоянным, то квантование называется **нелинейным (неравномерным)**.

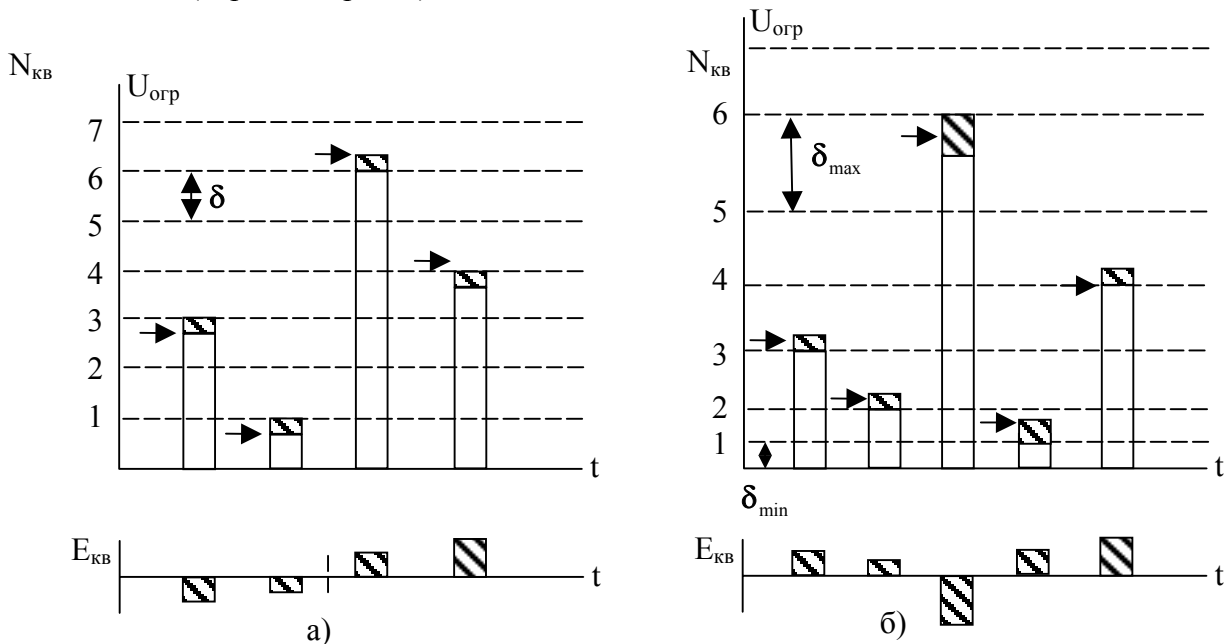


Рис. 4. Принципы равномерного (а) и неравномерного квантования (б)

На рис. 4 и 5 показаны принципы равномерного и неравномерного квантования и амплитудные характеристики квантующих устройств. Квантование осуществляется следующим образом. Если амплитуда отсчета в пределах двух соседних разрешенных уровней превышает половину шага квантования $\sigma/2$, то амплитуда отсчета изменяется в большую сторону, если меньше половины шага квантования – в меньшую сторону. Т.О. операция квантования аналогична операции округления чисел, а следовательно, неизбежно приводит к возникновению ошибки, причем устранить эту ошибку на приеме не представляется возможным. Ошибкой (шумом) квантования называют разность между истинным значением отсчета и его квантованным значением: $\Sigma_{\text{кв}}(t) = U(t) - U_{\text{кв}}(t)$. На рис. 4 истинное значение амплитуды каждого АИМ отсчета (до операции квантования) указано стрелкой. Как видно из рис., вне зависимости от амплитуды отсчета $|\Sigma_{\text{кв}}(t)| \leq \sigma/2$. При этом, средняя мощность шумов квантования при равномерном квантовании $P_{\text{ш.кв}} = \sigma^2 / 12$.

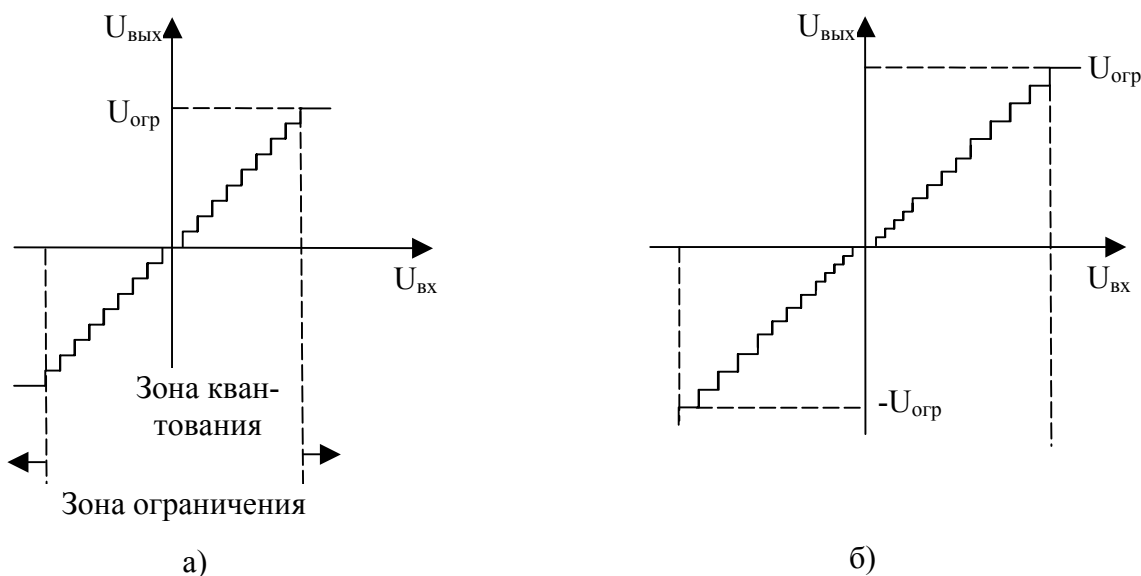


Рис. 5. Амплитудные характеристики квантующих устройств

Характеристика квантования (рис. 5) имеет две зоны: квантования при $|U_{\text{вх}}| \leq |U_{\text{огр}}|$ и ограничения при $|U_{\text{вх}}| \geq |U_{\text{огр}}|$. Зона квантования является рабочей областью характеристики. В ее пределах осуществляется квантование сигнала. Чтобы не возникали шумы ограничения, применяют специальные меры, предотвращающие перегрузку квантования, т.к. возникающие шумы ограничения имеют мощность значительно превышают мощность шумов квантования.

Основной недостаток равномерного квантования заключается в следующем. Поскольку мощность шумов квантования не зависит от величины сигнала, защищенность от шумов квантования, определяемая как $A_{\text{зкв}} = 10 \lg P_c / P_{\text{ш.кв}}$ оказывается небольшой для сигналов с малыми уровнями (слабых сигналов) и возрастает при увеличении уровня сигнала (рис. 6). Для того чтобы выполнить требование к защищенности $A_{\text{зкв.тр}}$, необходимо уменьшить шаг квантования, т.е. увеличить число разрешенных уровней. При уменьшении δ в 2 раза мощность шумов квантования уменьшается в 4 раза, а защищенность $A_{\text{зкв}}$ возрастает на 6 дБ.

Число уровней квантования $N_{\text{кв}}$ однозначно связано с разрядностью кода m , необходимой для кодирования квантованных АИМ отсчетов. При использовании двоичных кодов $N_{\text{кв}} = 2^m$.

Для **max** по амплитуде сигнала защищенность от шумов квантования $A_{\text{зкв max}} = 6m - 9,2$ дБ, а для слабых сигналов $A_{\text{зкв min}} = 6m - 42,2$ дБ.

Если требуется обеспечить защищенность от шумов квантования во всем динамическом диапазоне сигнала не менее $A_{\text{зкв.тр}} = 30$ дБ, то оказывается, что потребуется $m = 12(4096N_{\text{кв}})$. При этом защищенность для сигналов **max** с амплитудой (сильных) будет более чем на 30 дБ превышать $A_{\text{зкв.тр}}$.

Большое число разрядов в коде ($m = 12$) при равномерном квантовании приводит к усложнению аппаратуры и неоправданному увеличению тактовой частоты (). Устранить указанный существенный недостаток можно, осуществляя неравномерное квантование, которое используется в современных ЦСП. Для слабых сигналов шаг квантования выбирается и постепенно увеличивается, достигая максимальных значений для сильных сигналов (рис. 4б).

На рис. 5б приведена амплитудная характеристика квантования при неравномерном квантовании. При этом для слабых сигналов уменьшается (), а для сильных – возрастает, что приводит к увеличению $A_{\text{зкв}}$ для слабых сигналов и снижению $A_{\text{зкв}}$ - для сильных, которые имели большой запас по помехозащищенности (см. рис. 6). В результате удастся снизить разрядность кода до $m = 8$ (), обеспечив при этом выполнение требований к защищенности от шумов квантования в широком динамическом диапазоне сигнала, составляющем около 40 дБ (рис. 7). Таким образом происходит выравнивание $A_{\text{зкв}}$ в широком диапазоне изменения уровней сигнала.

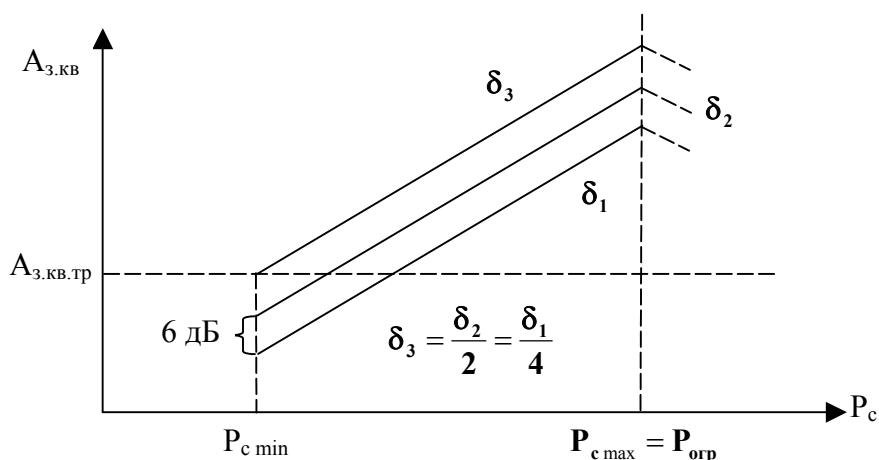


Рис. 6. Зависимость $A_{\text{зкв}} = f(P_c)$ при неравномерном квантовании

Нелинейная шкала квантования в СП и ИКМ может быть реализована следующими способами:

- 1) сжатием с помощью компрессора динамического диапазона сигнала перед кодированием его в кодере с линейной шкалой квантования и последующим его расширением экспандером после декодирования;
- 2) нелинейным кодированием и декодированием;
- 3) цифровым компандированием.

Все три способа практически равноценны, однако они отличаются не только схемными решениями, но и эксплуатационными характеристиками. Нелинейные кодеки и цифровые компандеры обеспечивают лучшую стабильность характеристик канала. Им не

свойственны недостатки, имеющие место при несогласованной работе компрессора и экспандера.

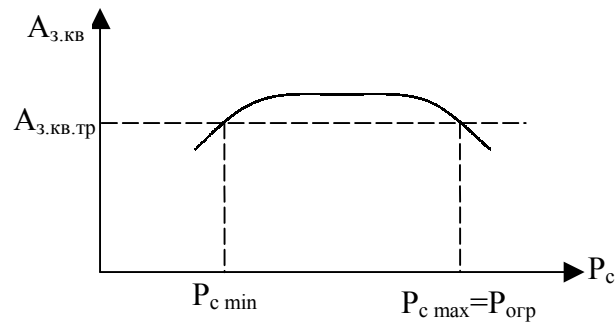


Рис. 7. Зависимость $A_{3,KB} = f(P_c)$ при неравномерном квантовании

Так как $P_c \equiv U_{вх}^2$, а $P_{ш.кв} = \frac{\delta^2}{12}$, то $\frac{P_c}{P_{ш.кв}} = 12 \frac{U_{вх}^2}{\delta^2}$; отношение $P_c/P_{ш.кв}$ будет оста-

ваться постоянным, если шаг квантования возрастает пропорционально напряжению входного сигнала. Такая шкала квантования называется пропорциональной.

В современных ЦСП находят применение две логарифмические характеристики компандирования: **А-закон** и **М-закон**, которые удобно изображать и описывать в нормированном виде $y = f(x)$, где $y = U_{вых}/U_{огр}$ и $x = U_{вх}/U_{оог}$: $\frac{\delta_{max}}{\delta_{min}} = 1 + \mu$. Различие меж-

ду δ_{max} и δ_{min} тем заметнее чем больше коэффициент сжатия μ . Характеристика компандирования типа **А** используется в ЦСП соответствующих европейской иерархии, а типа **М** – в ЦСП, соответствующих североамериканской иерархии, причем плавая характеристика компрессии заменяется кусочно-ломанной аппроксимирующей функцией. В зависимости от числа используемых сегментов при аппроксимации и вида закона компрессии линейно-ломаную характеристику компрессии обозначают буквой и двумя цифрами. Так, запись **А 87,6/13** означает, что используется аппроксимация по **А-закону** при **А=87,6** с **13** аппроксимирующими сегментами фактически характеристика компрессии состоит из **16** сегментов (по **8** для каждой полярности), но **4** центральных сегмента имеют одинаковую крутизну и поэтому принимаются за **один**.

ЛЕКЦИЯ 13

Кодирование сигналов, простейшие двоичные коды. Принципы формирования цикла передачи в ЦСП. Понятие о видах синхронизации в ЦСП. Проблемы обеспечения тактовой синхронизации на цифровой сети.

В процессе кодирования амплитуда каждого квантованного по уровню АИМ отсчета представляется в виде двоичной последовательности, содержащей m символов (m – разрядной кодовой комбинации). Для определения структуры комбинации в простейшем случае нужно в двоичном коде записать амплитуду АИМ отсчета $n_{\text{АИМ}}$, выраженную в шагах квантования. В этом случае можно воспользоваться соотношением

$$n_{\text{АИМ}} = \sum_{i=0}^{m-1} \alpha_i 2^i = \alpha_{m-1} 2^{m-1} + \alpha_{m-2} 2^{m-2} + \alpha_2 2^2 + \alpha_1 2^1 + \alpha_0 2^0,$$

где $\alpha_i = \{0,1\}$ – состояние соответствующего разряда комбинации; 2^i – вес соответствующего разряда в условных шагах квантования; n – номер кодируемого уровня квантования; m – число разрядов в кодовой группе. Необходимое число разрядов для кодирования при заданном максимальном числе уровней шкалы квантования n_{max} определяется из выражения $m = \log_2 n_{\text{max}}$. Если кодовая группа содержит m символов 0 и 1 , то с помощью такого m – разрядного двоичного кода можно закодировать числа до $n_{\text{max}} = 2^m$. Так, при $m = 7$ $n_{\text{max}} = 128$, при $m = 8$ $n_{\text{max}} = 256$ и т.д. Например, если $m = 5$, а $n_{\text{АИМ}} = 27$, то кодовая комбинация будет иметь структуру **11011** (первый разряд – старший по весу), так как $27 = 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \Rightarrow 11011$. Последовательность m -разрядных кодовых комбинаций представляет собой групповой сигнал с ИКМ, называемый также цифровым. Такой код называется натуральным. Находят применение также двоичные коды следующих типов: симметричный двоичный код, рефлексный двоичный код – код Грея.

Симметричный двоичный код в основном используется при кодировании двуполярных сигналов, например, телефонных. Для всех положительных отсчетов знаковый (старший) символ имеет значение 1 , а для всех отрицательных 0 . Для положительных и отрицательных отсчетов, равных по амплитуде, структуры кодовых комбинаций полностью совпадают, за исключением знакового разряда, т.е. код является симметричным. Например, максимальному положительному сигналу соответствует код $11111111 \Rightarrow 127$, а максимальному отрицательному $01111111 \Rightarrow -127$. Абсолютное значение шага квантования $\delta = U_{\text{grp}} / 2^{m-1}$.

Натуральный двоичный код в основном используется при кодировании однополярных сигналов. Число комбинаций различной структуры (при $m = 8$) равно 256, причем минимальному сигналу соответствует комбинация 00000000 , а максимальному – 11111111 . Абсолютное значение шага квантования $\delta = U_{\text{grp}} / 2^m$.

Натуральный и симметричный двоичные коды являются наиболее простыми. Как для натурального, так и для симметричного кода ошибка в одном из символов может привести к значительным искажениям сигнала. Если, например, в кодовой комбинации вида 11010011 ошибка произошла в пятом разряде, т.е. принята комбинация 11000011 , то амплитуда отсчета будет меньше истинного значения $2^4 = 16$ условных шагов квантования. Следовательно наиболее опасными, очевидно, будут ошибки в старших разрядах (P_8, P_7).

Как уже отмечалось на выходе кодера формируется групповой цифровой сигнал с ИКМ, представляющий собой последовательность восьмиразрядных кодовых комбинаций каналов. В цикле передачи системы помимо информационных символов, формируемых на

входе кодера, необходимо передавать ряд дополнительных сигналов, к которым, в частности относятся: сигналы управления и взаимодействия – СУВ, передаваемые по телефонным каналам для управления приборами АТС (набор номера, вызов, ответ, отбой, разъединение и др.); сигналы цикловой (ЦС) и сверхцикловой (СЦС) синхронизации; сигналы передачи дискретной информации (ДИ) и др. Сигналы СУВ от АТС поступают на вход передающей части оконечной станции ЦСП и преобразуются в цифровую форму для ввода через схему формирования циклов (ФЦ) (так же как и сигналы ЦС, СЦС, ДИ) в цифровой поток, т.е. добавляются к информационным символам. В результате на выходе ФЦ формируется полный цифровой поток, имеющий циклическую структуру, причем его основные параметры строго регламентированы. Правильный порядок следования циклов в сверхцикле и кодовых групп в цикле передачи обеспечивается соответствующими управляющими импульсами от ГО передачи. Принципы построения временной диаграммы цикла и сверхцикла показаны на рис. 1. Длительность цикла $T_{\text{ц}}$ выбирается равной периоду дискретизации $T_{\text{д}}$, т.е. $T_{\text{ц}} = T_{\text{д}} = 125 \text{ мкс}$. Циклы $\text{Ц}_1, \text{Ц}_2, \dots, \text{Ц}_s$, каждый длительностью 125 мкс, объединяются в сверхциклы, следующие друг за другом. Каждый цикл состоит из информационных **канальных интервалов** $\text{КИ}_1, \text{КИ}_2, \dots, \text{КИ}_N$ и дополнительных канальных интервалов, необходимых для передачи синхросигнала (СС) цикловой синхронизации, СУВ и других вспомогательных сигналов. На рис. 1 дополнительные КИ выделены соответствующими обозначениями.

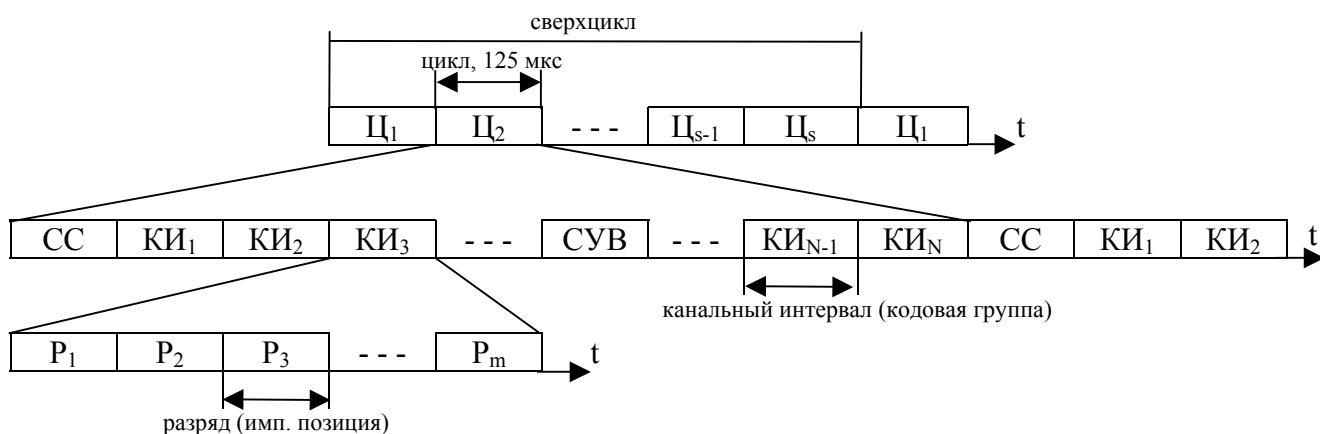


Рис. 1. Временные диаграммы цикла и сверхцикла

Каждый КИ представляет собой m -разрядную кодовую группу в разрядах P_1, P_2, \dots, P_m которой передается закодированная информация соответствующего канала, а в дополнительных КИ – кодовые группы СС цикловой синхронизации и СУВ. Обычно за один цикл передаются СУВ одного или двух каналов. Таким образом, для передачи СУВ всех N каналов потребуется соответственно N или $N/2$ циклов, объединенных в сверхцикл. Такое объединение циклов в сверхцикл необходимо для организации нужного числа каналов передачи СУВ и правильного распределения этих сигналов на приеме. В первом цикле сверхцикла обычно передается СС сверхцикловой синхронизации, а СУВ не передаются. Таким образом, общее число циклов в сверхцикле S на один больше, чем требуется для передачи СУВ всех каналов.

Скорость передачи группового ИКМ сигнала определяется **тактовой частотой** системы: $f_t = mN_0f_d$, где N_0 - общее число канальных интервалов в цикле, включая канальные интервалы для передачи СУВ, СС и других служебных сигналов. Так, для системы передачи ИКМ-30, где используется 8-разрядный код, цикл содержит 32 канальных интервала, а $f_d = 8 \text{ кГц}$, получим $f_t = 8 \cdot 32 \cdot 8 = 2048 \text{ кГц}$ (кбит/с).

В ЦСП, с ВРК правильное восстановление исходных сигналов на приеме возможно только при синхронной и синфазной работе ГО на передающей и приемной станциях

($T_{O_{пер}}$ и $T_{O_{пр}}$). Учитывая принципы формирования цифрового группового сигнала для нормальной работы ЦСП должны быть обеспечены следующие виды синхронизации: тактовая, цикловая и сверхцикловая. **Тактовая синхронизация** обеспечивает равенство скоростей обработки цифровых сигналов в линейных и станционных регенераторах, кодерах и других устройствах ЦСП, осуществляющих обработку сигнала с тактовой частотой. **Цикловая синхронизация** обеспечивает правильное разделение и декодирование кодовых групп цифрового сигнала и распределение декодированных отсчетов по соответствующим каналам в приемной части аппаратуры.

Сверхцикловая синхронизация обеспечивает на приеме правильное распределение СУВ по соответствующим телефонным каналам.

Нарушение хотя бы одного из видов синхронизации приводит к потере связи по всем каналам ЦСП. На рис. 2.а показано временное распределение циклов в сверхцикле, формируемом на передаче. При наличии тактовой, цикловой и сверхцикловой синхронизации на приеме временное расположение циклов и сверхциклов, определяемое генераторным оборудованием приема, соответствует расположению на передаче, т.е. не изменяется. При этом осуществляется правильное разделение информационных сигналов и СУВ по соответствующим телефонным каналам. Рассмотрим случай нарушения цикловой и сверхцикловой синхронизации (при наличии тактовой). При нарушении цикловой синхронизации (рис. 2.б) границы циклов на приеме произвольно смещаются по отношению к границам циклов группового сигнала, поступающего на вход приемного оборудования (рис. 2.а). Это приводит к неправильному разделению канальных сигналов и СУВ, т.е. к потере связи по всем каналам. В частном случае (если временной сдвиг ΔT окажется кратным $T_{ки}$) может произойти переадресация информации, при которой на выход i -го канала будет поступать информация, относящаяся к некоторому j -му каналу. Очевидно, что нарушение цикловой синхронизации неизбежно приведет к нарушению сверхцикловой синхронизации.

При нарушении сверхцикловой синхронизации, но сохранении тактовой и цикловой границы циклов на приеме и передаче совпадают, но нарушается порядок счета циклов в сверхцикле, т.е. на приеме смещаются границы сверхцикла (рис. 2.в). Это приведет на приеме к неправильному распределению СУВ, передаваемых в определенном порядке в сверхцикле, между телефонными каналами. Поскольку СУВ представляет собой набор сигналов, управляющих работой приборов АТС (набор номера, ответ, отбой, разъединение и др.), нарушение сверхцикловой синхронизации также приведет к потере связи по всем каналам. В частных случаях могут быть установлены случайные соединения абонентов, разрушены ранее установленные связи и т.п.

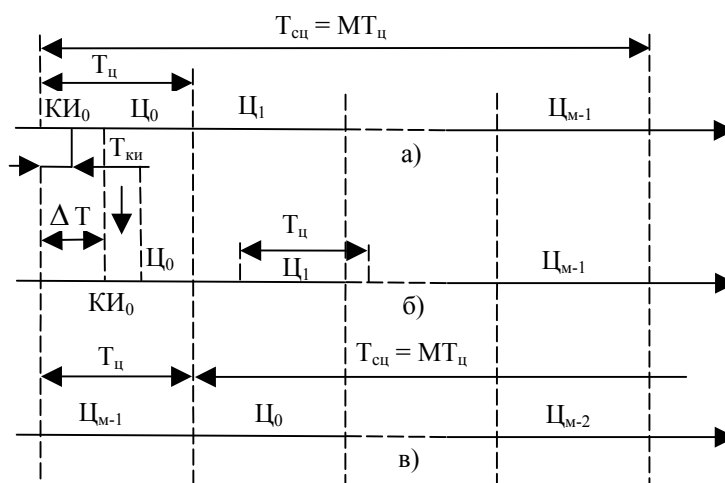


Рис. 2. Временной спектр ЦСП при нарушении синхронизации

Очевидно, что нарушение тактовой синхронизации делает невозможным установление цикловой и сверхцикловой синхронизации, т.к. обработка символов цифрового группового сигнала с частотой, отличной от тактовой $T_{ц}$, приведет к недопустимому возрастанию числа ошибок.

Существует несколько способов выделения тактовой частоты. Сущность одного из наиболее распространенных методов состоит в том, что из спектра группового цифрового сигнала с помощью выделения тактовой частоты (ВТЧ), содержащего высокочастотные резонансные контуры, фильтры – выделители или избирательные усилители, выделяется тактовая частота. Такой способ выделения тактовой частоты называется способом пассивной фильтрации (или резонансным). Этот способ характеризуется простотой реализации. ВТЧ, но имеет существенный недостаток: стабильность выделения тактовой частоты зависит от стабильности параметров фильтра-выделителя и структуры цифрового сигнала (при появлении длинных серий нулей или кратковременных перерывах связи затрудняется процесс выделения тактовой частоты).

Перспективным для высокоскоростных ЦСП, но более сложным, является способ тактовой синхронизации с применением устройств автоподстройки частоты генератора тактовой частоты приемного оборудования (способ активной фильтрации).

ЛЕКЦИЯ 14

Принципы регенерации цифровых сигналов. Основные виды помех и искажений в каналах и трактах ЦСП. Базовые принципы построения плездохронной (ПЦИ) и синхронной (СЦИ) цифровых иерархий. Особенности построения и основные элементы волоконно-оптических цифровых систем передачи.

На вход линейного тракта ЦСП поступает двоичный сигнал в котором символом 0 и 1 соответствуют импульсы и паузы. На передаче с помощью преобразователя кода (ПК_{пер}) двоичный сигнал преобразуется в цифровой импульсный сигнал, удобный для передачи по проводным линиям связи.

Для увеличения дальности действия ЦСП линия разбита на регенерационные участки, между которыми установлены необслуживаемые или обслуживаемые регенерационные пункты (НРП, ОРП). Назначение регенераторов (Рег), размещенных на этих пунктах, состоит в восстановлении формы передаваемых импульсных сигналов.

Непременными узлами оконечного и промежуточного оборудования СП являются согласовывающие трансформаторы включаемые между входом (выходом) аппаратуры связи и линией.

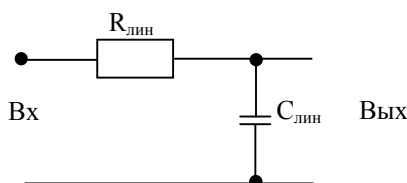


Рис. 1. Учет влияния $R_{\text{линь}}$ и $C_{\text{линь}}$

На прохождение импульсных сигналов по регенерационному участку влияют первичные параметры, причем если учитывать только R и C (рис. 1) то длительность $U_{\text{вых}}(t)$ превышает длительность входного импульса τ_u . С увеличением длины линии l увеличивается постоянная времени $\tau_{\text{линь}} = R_{\text{линь}} C_{\text{линь}}$ (где $R_{\text{линь}} = Rl$, $C_{\text{линь}} = Cl$), что приводит к возрастанию длительности импульсов на выходе линии и уменьшению их высоты. Если же учитывать все первичные параметры линии и учитывать их распределенный характер, то форма выходного импульса еще больше искажается, причем с увеличением l уменьшается высота импульса и возрастает его длительность. Такие искажения формы импульсов называются **линейными искажениями первого рода**. Так как затухание линии возрастает с увеличением частоты, можно считать, что линейные искажения первого рода связаны с подавлением высокочастотных компонент импульсных сигналов.

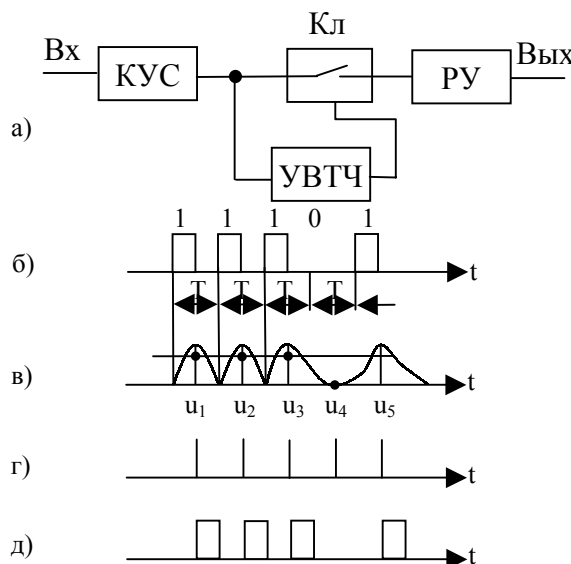


Рис. 2. К анализу работы регенератора

Согласующие трансформаторы влияют на прохождение низкочастотных компонент сигналов. Характерная особенность искажения формы импульса состоит в том, что возникает длительное последствие, что вызывает подавление низкочастотных компонент импульсного сигнала. Такие искажения носят название *линейных искажений второго рода*.

Рассмотрим работу регенератора (рис. 2.а). На временных диаграммах (рис. 2.б и в) показаны идеальный и искаженный двоичные сигналы, причем последний действует на входе регенератора. С помощью корректирующего усилителя (КУС) происходит усиление и частичное восстановление формы импульсного сигнала. Устройство выделения тактовой частоты (УВТЧ) вырабатывает последовательность стробирующих импульсов, следующих с частотой $f_r = 1/T$ (рис. 2.г). В моменты действия этих импульсов замыкается ключ (КЛ) и отсчеты сигнала U_1, U_2, U_3, \dots проходят в решающее устройство (РУ). Здесь происходит сравнение напряжений U_i с пороговым напряжением U_n . Если $U_i > U_n$, то на выходе РУ появляется стандартный импульс, в противном случае на выходе РУ формируется пауза (рис. 2.д). Таким образом регенератор восстанавливает форму исходного цифрового импульсного сигнала (отличие заключается в небольшом временном запаздывании, что несущественно).

Искажения первого рода, при которых возрастает длительность импульсов (по сравнению с исходными) может привести к возникновению ошибки в работе регенератора, за счет перекрытия импульсов (рис. 3).

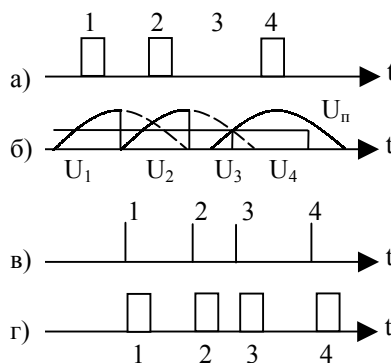


Рис. 3. Возникновение ошибки в работе регенератора из-за линейных искажений первого рода

На рис. 3.а-в изображены неискаженный двоичный сигнал, сигнал действующий на выходе КУС и тактовая последовательность импульсов, выработанная УВТЧ. В момент действия третьего импульса тактовой последовательности отсчет суммарного напряжения на входе РУ $U_3 > U_n$ и вместо паузы в двоичном сигнале на выходе РУ появляется импульс, т.е. в процессе регенерации возникла ошибка. Линейные искажения второго рода приводят к затруднению выбора величины порога U_n в РУ, что приводит к дополнительным ошибкам. Рассмотрим влияние помех на возникновение ошибок, полагая, что напряжение помехи ограничено диапазоном $\pm U_{\text{пом. max}}$. Если помеха противоположна по знаку полезному сигналу и превышает пороговое напряжение $U_{\text{пор}}$, то возникает ложное срабатывание РУ. Обычно $U_{\text{пор}}$ выбирают посередине диапазона напряжений $0 \dots U_m$. Тогда условием отсутствия ошибок является выполнение неравенства $U_{\text{пом. max}} \leq 0,5U_m$. Тогда минимально допустимая защищенность сигнала от помехи

$$A = 20 \lg(U_m / U_{\text{пом. max}}) = 20 \lg(2) = 6 \text{ дБ.}$$

Таким образом необходимо отметить, что источниками ошибок в цифровом линейном тракте являются помехи и линейные искажения.

Структура первичной сети *иерархия ЦСП с ИКМ* предопределяет объединение и разделение потоков передаваемой информации, поэтому используемые на ней СП строятся по иерархическому принципу. Применительно к цифровым системам этот принцип заключается в том, что число каналов ЦСП, соответствующей данной ступени иерархии, больше числа каналов ЦСП предыдущей ступени в целое число раз. Система передачи,

соответствующая первой ступени, называется первичной; в этой ЦСП осуществляется прямое преобразование относительно небольшого числа первичных сигналов в первичный цифровой поток. Системы передачи второй ступени иерархии объединяют определенное число первичных потоков во вторичный цифровой поток и т.д. Таким образом, если на данной станции первичной сети необходимо установить ЦСП с ИКМ с относительно большим числом каналов, на ней устанавливают аппаратуру соответствующего числа первичных, вторичных и т.д. цифровых систем передачи. Системы, построенные таким способом, называют ЦСП с временным группообразованием. Эти системы помимо обеспечения потребностей сети позволяют использовать на первой ступени групповые кодеки с приемлемыми скоростями работы.

СП с ЧРК также строятся по иерархическому принципу, но в отличие от ЦСП с ИКМ для них ступенями иерархии являются не сами системы передачи, а типовые группы каналов. Системы передачи проектируются на числа каналов, кратные типовым группам.

В рекомендациях МККТТ представлено несколько типов иерархий ЦСП с ИКМ: европейская, североамериканская и японская. К 1990г. МККТТ разработал рекомендации по единой (всемирной) синхронной цифровой иерархии (СЦИ), позволяющей объединять цифровые потоки, образованные системами передачи входящими в любую существующую иерархию.

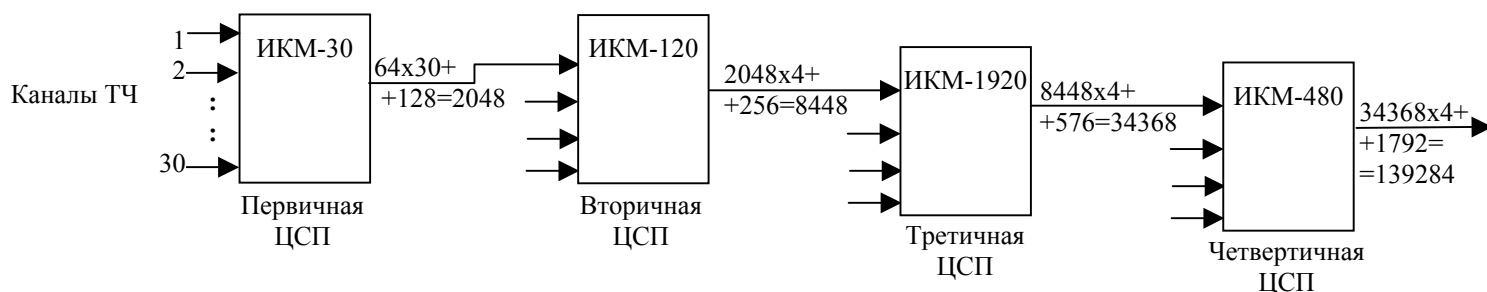


Рис. 4. Принципы построения асинхронной иерархии ЦСП

Цифровые системы передачи с ИКМ, используемые на российской первичной сети, соответствуют европейской иерархии, рекомендованной МККТТ. На рис. 4 отмечены ступени иерархии, указаны типы соответствующих им ЦСП, а также скорости цифровых потоков. Во всех потоках отводятся специальные позиции для передачи служебных сигналов, что также указано на рисунке. Например, скорость вторичного потока, равная $2048 + 4 + 256 = 8448$ кбит/с, определена скоростями четырех первичных потоков (по 2048 кбит/с) и служебной информацией (256 кбит/с). Необходимо отметить, что информация, передаваемая по одному каналу ТЧ, преобразуется в цифровой поток со скоростью 64 кбит/с, соответствующий основному цифровому каналу (ОЦК).

Параметры цифровых потоков, получаемых на тех или иных ступенях иерархии, должны соответствовать рекомендациям МККТТ. Это позволяет унифицировать оборудование первичной сети и облегчает организацию международных связей.

Скорости цифровых потоков одной и той же ступени иерархии, но образуемых ЦСП, расположенными на различных станциях сети, могут несколько отличаться друг от друга в пределах допустимой нестабильности задающих генераторов. Это требует принятия специальных мер при объединении потоков в поток более высокой ступени иерархии, что заметно усложняет эксплуатацию первичной сети связи в целом и снижает ее качественные показатели. Системы передачи, где объединяются потоки с небольшими расхождениями скоростей, называют *плезихронными (ПЦИ)*. Если же обеспечить синхронность объединяемых потоков, то резко упрощается техника их объединения и разделения. Кроме того, обеспечивается прямой доступ к компонентам составляющих потоков без разделения общего, а также появляются заметные преимущества эксплуатации и технического обслуживания сети связи.

В разработанной системе *синхронной* цифровой иерархии (СЦИ) скорость передачи на первой ступени установлена равной 155520 кбит/с, что выше верхней скорости ев-

ропейской ПЦИ (139264 кбит/с). Установлены также скорости высших ступеней: второй – $155520 \times 4 = 622080$ кбит/с и третьей – $622080 \times 4 = 2488320$ кбит/с. Кроме того, рассматривается вопрос об установлении скоростей передачи ниже первой ступени, что позволит получить преимущества СЦИ на современных спутниковых и радиорелейных линиях связи, где скорости цифровых потоков не превышают 60000 кбит/с. Для РРЛ СЦИ используется особый формат передачи 51,84 мбит/с. Объединение плездохронных цифровых потоков в синхронные осуществляется с добавлением довольно большого объема служебной информации. Например, для четверичного потока эта добавка составляет $155520 - 139264 = 16256$ кбит/с. Большие объемы служебной информации позволяют поднять эксплуатационные и техническое обслуживание сети на качественно новый уровень.

В последние годы практически во всех странах находят широкое применение волоконно-оптические системы передачи (ВОСП). По сравнению с традиционными системами связи на медных кабелях ВОСП обладают рядом преимуществ: широкая полоса пропускания, позволяющая организовать по одному волоконно-оптическому тракту необходимое число каналов с дальнейшим их наращиванием, а также предоставлять абоненту наряду с телефонной связью любые виды услуг связи (телевидение, телефакс, широкополосное радиовещание, видеосвязь, телематическое и справочное обслуживание, рекламу, местную связь и др.); высокая защищенность от электромагнитных помех; малое километрическое затухание и возможность организации регенерационных участков большой протяженности; значительная экономия меди и потенциально низкая стоимость оптического кабеля (ОК) и др.

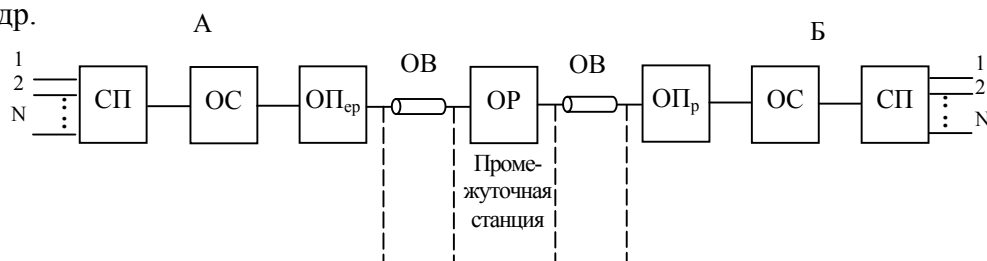


Рис. 1. Принципы организации волоконно-оптической связи

На передающей станции А (рис. 1) первичные сигналы в электрической форме поступают на аппаратуру системы передачи (СП), с выхода которой групповой сигнал подается в оборудование сопряжения (ОС). В ОС электрический сигнал преобразуется в форму, целесообразную для передачи по волоконно-оптическому линейному тракту. Оптический передатчик (ОПсп) преобразует электрический сигнал с помощью модуляции оптической несущей в оптический сигнал. При распространении последнего по оптическому волокну (ОВ) происходит его ослабление и искажение. Для увеличения дальности связи через определенное расстояние, называемое участком ретрансляции (регенерации), устанавливаются промежуточные обслуживаемые или необслуживаемые станции, где осуществляются коррекция искажений и компенсация затухания.

На промежуточных станциях главным образом по техническим причинам целесообразно производить обработку (усиление, коррекцию, регенерацию и т.д.) электрического сигнала. Поэтому промежуточные станции ВОСП строятся с преобразованием на входе оптического сигнала в электрический и обратным преобразованием на выходе. В принципе возможно построение чисто оптических промежуточных станций на основе оптических квантовых усилителей. На приемной оконечной станции Б осуществляется обратное преобразование оптического сигнала в электрический.

Для модуляции оптической несущей информационным сигналом можно использовать частотную модуляцию, фазовую, амплитудную по интенсивности (МИ), поляризационную модуляцию (ПМ) и др. В подавляющем большинстве случаев применяется модуляция по интенсивности оптического излучения.

ЛЕКЦИЯ 15

Принципы построения систем радиосвязи. Структура радиосистем передачи. Функциональная схема дуплексной системы радиосвязи. Структурные схемы и основные характеристики приемных и передающих устройств. Понятие об основных параметрах антенн.

Под радиосистемой передачи (РСП) понимают совокупность технических средств, обеспечивающих образование типовых каналов передачи и групповых трактов первичной сети, а также линейного тракта, по которому сигналы электросвязи передаются посредством радиоволн в открытом пространстве.

С помощью современных РСП можно передавать любые виды информации. Как и проводные системы передачи, подавляющее большинство РСП являются многоканальными. При этом используются частотное или временное разделение каналов. На рис. 1 приведена упрощенная структурная схема радиолинии.

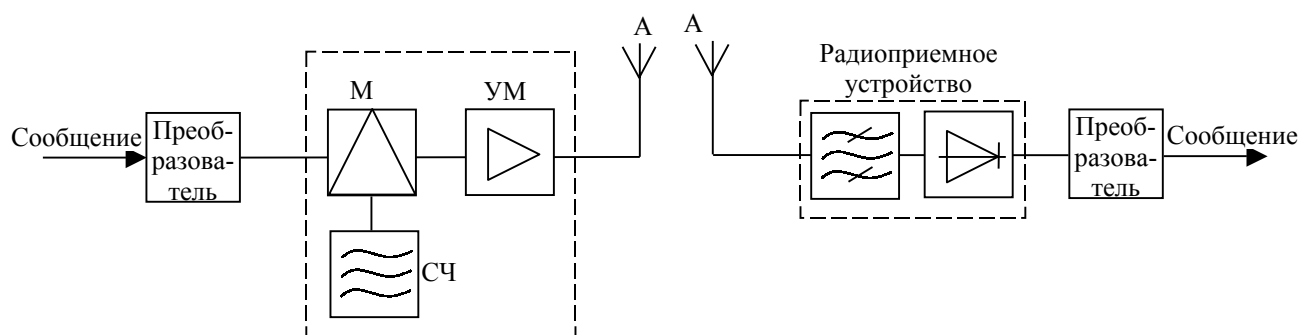


Рис. 1. Структурная схема радиолинии

Передаваемое сообщение поступает на преобразователь (микрофон, телевизионную камеру, телеграфный аппарат), который преобразует его в электрический сигнал. Последний поступает на радиопередающее устройство, состоящее из модулятора (М), синтезатора несущей частоты (СЧ) и усилителя модулированных колебаний (УМК). С помощью модулятора один из параметров вч колебания изменяется по закону передаваемого сообщения. С помощью антенны (А) энергия радиочастотных колебаний передатчика излучается в тракт распространения радиоволн.

На приемном конце радиоволны наводят ЭДС в антенне. Радиоприемное устройство с помощью селективных (избирательных) цепей (СЦ) отфильтровывает сигналы от помех и других радиостанций. В детекторе (Д) происходит процесс, обратный модуляции - выделение из модулированных колебаний исходного электрического сигнала, который управлял радиопередатчиком. С помощью преобразователя (громкоговорителя, телеграфного аппарата, приемной телевизионной трубки) электрический сигнал связи преобразуется в сообщение, доставляемое абоненту.

Рассмотренная радиолиния обеспечивает одностороннюю передачу сообщения, что приемлемо только в службах оповещения.

Для организации двусторонней радиосвязи в каждом пункте надо иметь и передатчик и приемник. Если при этом передача и прием на каждой радиостанции осуществляются поочередно, то такая радиосвязь называется симплексной. Двусторонняя радиосвязь, при которой связь между радиостанциями реализуется одновременно, называется дуплексной (рис. 2). При дуплексной радиосвязи передача в одном и другом направлении ведется, как правило, на разных несущих частотах.

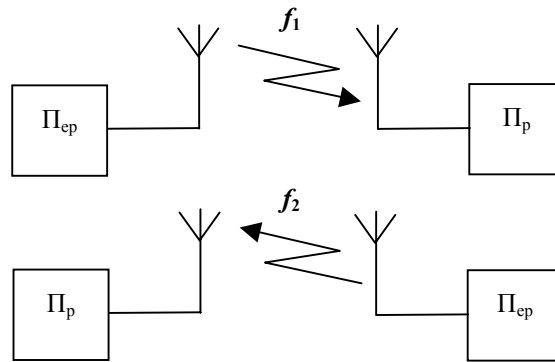


Рис. 2. Структурная схема организации дуплексной радиосвязи

Это делается для того, чтобы приемник принимал сигналы только от передатчика с противоположного пункта и не принимал сигналов собственного передатчика.

Схема и конструкция радиопередатчика зависит от различных факторов: назначения, диапазона рабочих волн, мощности и т.д. Тем не менее можно выделить некоторые типичные блоки, которые с теми или иными вариациями имеются в большинстве радиопередатчиков.

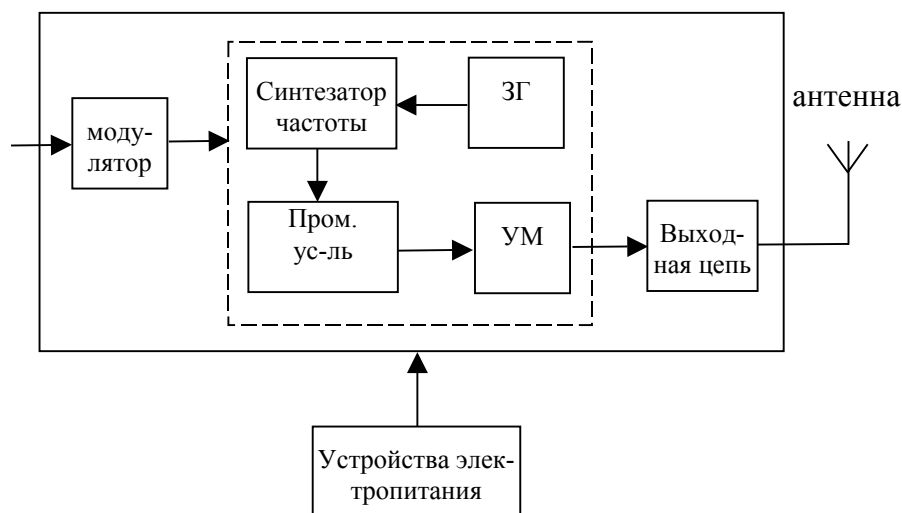


Рис. 3. Структурная схема радиопередатчика

Структура передатчика (рис. 3) определяется его основными общими функциями, к которым относятся:

- получение вч колебаний требуемой частоты и мощности;
- модуляция вч колебаний передаваемым сигналом;
- фильтрация гармоник и прочих колебаний, частоты которых выходят за пределы необходимой полосы излучения и могут создать помехи другим радиостанциям;
- излучение колебаний через антенну.

К основным показателям радиопередатчика относятся: диапазон волн, мощность, коэффициент полезного действия, вид и качество передаваемых сигналов.

В соответствии с **классификацией волн различают передатчики** километровых, гектометровых, декаметровых, метровых, дециметровых и других волн (1-10км; 30-300кГц; 100-1000м; 300-3000кГц; 10-100, 3-30МГц; 1-10, 30-300МГц; 0,1-1, 300-3000МГц и др.). С этим различием связаны соответствующие особенности конструкций, так как в разных диапазонах различны конструкции колебательных контуров и типов усилительных элементов.

Мощность передатчика обычно определяется как максимальная мощность вч колебаний, поступающая в антенну, при отсутствии модуляции, при непрерывном излучении. **Коэффициент полезного действия** – отношение мощности вч колебаний к мощности потребляемой от источника постоянного тока, т.е. $\eta = \frac{P_{к}}{P_0}$.

К другим показателям определяющих вид и качество передаваемых сигналов относятся:

Стабильность излучаемой передатчиком частоты и **уровень побочных** излучений.

По существующим международным нормам отклонение от номинала частоты передатчика для радиосвязи на гектаметровых волнах не должна превышать 0,005%, для РВ передатчиков отклонения частоты в этом диапазоне не должно превышать 10Гц.

На декаметровых волнах допустимая нестабильность частоты для передатчиков мощностью более 0,5 кВт равна $15 \cdot 10^{-6}$, что соответствует в диапазоне от 3 до 30 МГц абсолютному отклонению частоты от 45 до 450 Гц. Некоторые системы радиосвязи по своему принципу требуют, чтобы стабильность частоты была значительно лучше, чем требуют указанные нормы.

Радиоприемные устройства используют для радиосвязи, звукового и телевизионного вещания, радионавигации, радиолокации, радио-, телеуправления и т.д. Радиоприемное устройство должно содержать все необходимые узлы для осуществления следующих процессов:

- выделения из всей совокупности электрических колебаний, создаваемых в антенне внешними электромагнитными полями, сигнала от нужного РПДУ;
- усиления вч сигнала;
- детектирования, т.е. преобразования вч модулированного сигнала в ток, изменяющийся по закону модуляции;
- усиления протектированного сигнала.

Дальнейшее преобразование сигнала зависит от конкретных особенностей применения радиоприемника. Если, например, приемник предназначен для многоканальной радиосвязи, то протектированный и усиленный сигнал подводится к оконечному устройству, в котором происходит разделение сигналов по отдельным каналам и, если требуется, дополнительная их обработка.

Применяемые радиоприемники делятся на профессиональные и бытовые. Первые предназначаются для использования на линиях радиосвязи и для решения различных навигационных, телеметрических и других специальных задач.

РПДУ можно классифицировать:

- по роду работы (радиотелефонные, радиотелеграфные, телевизионные, радионавигационные, радиолокационные и др.);
- по виду модуляции (с АМ, ЧМ, однополосной АМ (ОБП) и т.д.);
- по диапазону волн принимаемых сигналов (километровые, гектаметровые, декаметровые и т.д.);
- по месту установки (стационарные, переносные, самолетные, автомобильные и др.);
- по схеме электропитания (от сети постоянного и переменного токов).

В настоящее время находят применение приемники прямого усиления, регенеративные, суперрегенеративные, супергетеродинные с одинарным и двойным преобразованием частоты.

На рис. 4 приведена структурная схема супергетеродинного приемника, отличительной особенностью которого является использование в нем преобразователя частоты, состоящего из смесителя (С) и гетеродина (Г), получаемую на выходе промежуточную частоту, усиливают в дальнейшем УПЧ.

Преобразователем частоты называют устройство, предназначенное для переноса спектра сигнала из одной области частот в другую без изменения амплитудных и фазовых соотношений между компонентами спектра. Поскольку при таком переносе форма спектра сигнала не меняется, то не будет меняться и закон модуляции сигнала. Изменяется только значение несущей частоты сигнала f_c , которая становится равной некоторой преобразованной частоте f_{np} . Обычно $f_{np} = f_r - f_c$, причем $F_c < f_{np} < f_c$.

Показатели радиоприемников определяются их назначением. Для радиоприемников разных типов они могут быть различными.

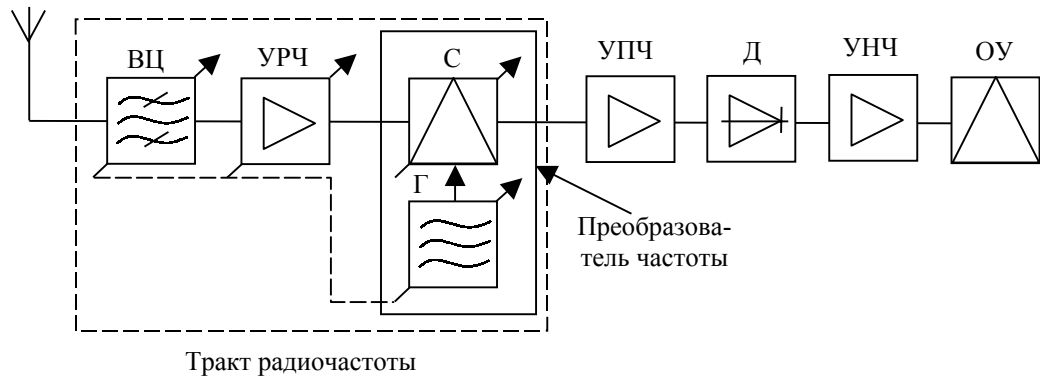


Рис. 4. Структурная схема супергетеродинного приемника

Чувствительность характеризует способность приемника принимать слабые сигналы. Она обычно оценивается наименьшим значением ЭДС или мощностью радиосигнала в антенне, при которой возможен устойчивый прием с нормальным воспроизведением сигнала без недопустимого искажения его помехами. Она лежит в пределах $50 \dots 300$ мкВ, $10^{-12} \dots 10^{-15}$ Вт или $0,3 \dots 5$ мВ/м (напряженность поля).

Избирательность (селективность) радиоприемного устройства называется его способность выделять из различных сигналов, отличающихся по частоте, сигнал принимаемой станции (относительное ослабление сигналов посторонних радиостанций, работающих на различных волнах, по отношению к сигналам принимаемого передатчика, на волну которого этот приемник настроен (колебательного контура и фильтры)). $S_{e_{об}} = 20 \lg S_e = K_{0_{об}} - K_{п_{об}}$, где K_0 – коэффициент усиления на частоте настройки; $K_{п}$ – коэффициент усиления на частоте $f_{п}$ – помехи.

Антенна является необходимым элементом любого РПР_д и РПР_у. Антенна радиопередатчика (передающая антенна) предназначена для преобразования тока высокой частоты в энергию излучаемых ее электромагнитных волн. Антенна радиоприемника (приемная антенна) предназначена для преобразования принятых ею электромагнитных волн в энергию тока высокой частоты. Характер процессов, происходящих в передающей и приемной антеннах, определяет обратимость их использования, т.е. одну и ту же антенну можно использовать для передачи и приема. Однако при передаче антенна может эффективно излучать электромагнитные колебания только тогда, когда ее размеры соизмеримы с длиной волны.

К основным характеристикам антенн относятся:

Излучаемая мощность ($P_{и}$) – мощность электромагнитных волн, излучаемых антенной в свободное пространство, активная мощность рассеиваемая в пространстве, окружающем антенну.

Мощность потерь ($P_{п}$) – мощность, бесполезно теряемая передатчиком во время прохождения тока по проводам антенны, в земле и предметах, расположенных вблизи антенны.

Мощность в антенне (P_a) – мощность, подводимая к антенне от передатчика, т.е. $P_a = P_{и} + P_{п}$.

КПД антенны – отношение излучаемой мощности к мощности, подводимой к антенне $\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{R_u}{R_u + R_n}$.

Входное сопротивление антенны – сопротивление на входных зажимах антенны. Оно имеет реактивную и активную составляющие. При настройке в резонанс антенна представляет для генератора чисто активную нагрузку и используется наиболее эффективно.

Направленность антенны – способность излучать электромагнитные волны в определенных направлениях. Об этом свойстве антенны судят по диаграмме направленности, которая графически показывает зависимость напряженности поля или излучаемой мощности от направления.

Коэффициентом направленного действия (D) называют отношение плотности потока мощности, излучаемой данной антенной в определенном направлении, к плотности потока мощности, которая излучалась бы абсолютно ненаправленной антенной в любом направлении при условии равенства общей излучаемой мощности в обеих антеннах.

$D = \frac{P_{u \max}}{P_{иср}}$ - КНД в направ. тах излучения.

Коэффициент усиления антенны (Ga) – произведение КНД на КПД, т.е. $Ga = D\eta$. Преимущественное излучение антенн в заданном направлении эквивалентно увеличению мощности передатчика.

ЛЕКЦИЯ 16

Уравнение передачи при распространении радиоволн в свободном пространстве и в реальных условиях. Понятие о множителе ослабления поля свободного пространства. Построение диаграммы уровней сигнала на участке передатчик-приемник.

Свободное пространство представляет собой однородную безграничную среду, в которой отсутствуют молекулы, атомы и свободные заряды. Диэлектрическая, $\Phi/\text{м}$ и магнитная, $\Gamma/\text{м}$, проницаемости такой среды $\xi_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$; $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$, а волновое сопротивление, Ом: $W_0 = \sqrt{\mu_0/\xi_0} = 120\pi$. Напряженность электрического поля в свободном пространстве зависит от расстояния r до излучающей антенны в случае ненаправленной антенны с мощностью излучения $P_{\text{изл}}$. При этом излучаемая волна имеет сферический фронт (сферическая волна). $E_0 = \sqrt{30P_{\text{изл}}}/r$ (В/м). Таким образом, в свободном пространстве, где отсутствуют потери излучаемой мощности, напряженность поля обратно пропорциональна расстоянию до излучающей антенны. При этом напряженность поля с увеличением расстояния уменьшается из-за распределения излучаемой мощности по поверхности сферы возрастающего радиуса.

При использовании антенн с направленным излучением

$E_0 = \sqrt{30P_{\text{изл}}G_{\text{нд}}F_{\text{нд}}(\Theta_\epsilon, \Theta_\zeta)}/r$, (В/м), где $G_{\text{нд}}$ – коэффициент усиления направленной излучающей антенны относительно ненаправленного излучателя; $F_{\text{нд}}(\Theta_\epsilon, \Theta_\zeta)$ – диаграмма направленности излучающей антенны (нормированная характеристика направленности по напряженности поля); $\Theta_\epsilon, \Theta_\zeta$ – углы в вертикальной и горизонтальной плоскостях между направлением максимального излучения антенны и направлением на точку, в которой определяется интенсивность поля. В направлении максимального излучения направленной антенны $\Theta_\epsilon = \Theta_\zeta = 0$, $F_{\text{нд}}(\Theta_\epsilon, \Theta_\zeta) = 1$, $E_0 = \sqrt{30P_{\text{изл}}G_{\text{нд}}}/r$. Из формулы видно, что применение направленных антенн позволяет уменьшить излучаемую мощность в $G_{\text{нд}}$ раз при сохранении неизменной мощности излучения.

Найдем выражения, характеризующие мощность сигнала $P_{\text{ос}}$ на входе приемника и используемые при расчете радиолиний передачи (РЛП). Обозначим $P_{\text{нд}}$ – мощность передатчика, Вт; $\eta_{\text{нд}}, \eta_{\text{пр}}$ – КПД передающего и приемного фидерных трактов (очевидно, $P_{\text{изл}} = P_{\text{нд}}\eta_{\text{нд}}$); $G_{\text{пр}}$ – коэффициент усиления приемной антенны. Будем считать, что максимум диаграммы направленности передающей антенны ориентирован в направлении приемной антенны и, наоборот, максимум диаграммы приемной антенны направлен на передающую антенну. С учетом этих замечаний получим

$P_{\text{ос}} = P_{\text{нд}}G_{\text{нд}}G_{\text{пр}}\eta_{\text{нд}}\eta_{\text{пр}}\lambda^2/16\pi^2r^2$ величину $V_0^2 = \lambda^2/16\pi^2r^2$ – называют *ослаблением радиоволн в свободном пространстве* (при ненаправленных антеннах), а обратную величину $L_0 = 1/V_0^2 = 16\pi^2r^2/\lambda^2$ – *основными потерями при передаче в свободном пространстве*.

Если требуется определить мощность сигнала на входе приемника в децибелах относительно 1 Вт (дБ Вт), следует пользоваться выражением

$P_{\text{ос}} = P_{\text{нд}} + G_{\text{нд}} + G_{\text{пр}} + \eta_{\text{нд}} + \eta_{\text{пр}} + V_0$, где $P_{\text{нд}}$ выражено в дБ относительно 1 Вт, а остальные величины в дБ.

В реальных радиолиниях передачи условия распространения радиоволн существенно отличаются от условий их распространения в свободном пространстве из-за влия-

ния атмосферы Земли и земной поверхности. Для учета этого влияния вводится понятие **множителя ослабления поля свободного пространства**, который сокращенно называют **множителем ослабления**.

Множитель ослабления показывает, во сколько раз напряженность поля в точке приема в реальных условиях (E_p) меньше, чем напряженность поля в той же точке при распространении в свободном пространстве E_0 . Множитель ослабления $V(t) = E_p / E_0$ или $U(t) = 20 \lg V(t)$.

Множитель ослабления зависит от многих факторов: от рельефа и электрических параметров земной поверхности на трассе линии, от высот поднятия антенн над поверхностью Земли, от используемых длины волны в вида поляризации радиоволн, от характера неоднородностей тропосферы и метеорологических условий на трассе линий. Из-за случайного характера изменения неоднородностей тропосферы и метеоусловий множитель ослабления в любой момент времени является случайной величиной, а его изменение во времени – случайным процессом.

Чтобы исследовать особенности распространения радиоволн в реальных условиях, необходимо найти распределение вероятностей или статистические характеристики, а также временные, частотные и пространственные зависимости множителя ослабления.

С учетом ослабления поля свободного пространства в реальных условиях запишем в общем виде основные энергетические соотношения:

мощность сигнала на входе приемника, Вт:

$$P_c = P_{oc} V^2 = P_{no} G_{no} G_{np} \eta_{no} \eta_{np} V_0^2 V^2 \text{ или дБ Вт}$$

$P_c = P_{no} + G_{no} + G_{np} + \eta_{no} + \eta_{np} + V_0 + V$, где P_{no} в дБ Вт, а все остальные величины выражены в децибелах, при этом $V_{дБ} = 20 \lg V$;

ослабление при передаче энергии в реальных условиях (между выходом передатчика и входом приемника) $P_c / P_{no} = G_{no} G_{np} \eta_{no} \eta_{np} V_0^2 V^2$;

$$\text{потери передачи } P_{no} / P_c = 1 / G_{no} G_{np} \eta_{no} \eta_{np} V_0^2 V^2$$
;

$$\text{основные потери при передаче } L = L_0 V^2 = \frac{16\pi^2 r^2}{\lambda^2 V^2}.$$

При распространении в свободном пространстве суммарное ослабление мощности сигнала между выходом передатчика и входом приемника $A_\Sigma = P_{no} / P_{oc}$, после подстановки значения P_{oc} получаем $A_\Sigma = (4\pi r / \lambda)^2 (1 / G_{no} G_{np} \eta_{no} \eta_{np})$.

Первый сомножитель этой формулы показывает ослабление сигнала между антеннами при распространении в свободном пространстве. Эта величина носит название **основных потерь при распространении в свободном пространстве** $A_{ce} = (4\pi r / \lambda)^2$.

$$\text{Перейдя к уровням, получаем } a_{ce} = 10 \lg A_{ce} = 20 \lg (4\pi r / \lambda),$$

$a_\Sigma = 10 \lg A_\Sigma = a_{ce} + a_{\phi n} + a_{\phi np} - (q_{no} + q_{np})$, где $a_{\phi n}$ – потери энергии основной волны в передающем антенно-фидерном тракте; $a_{\phi np}$ – потери энергии в приемном антенно-фидерном тракте; q_n, q_{np} – коэффициент усиления в дБ, соответственно передающей (q_{no}) и приемной (q_{np}) антенн уровень мощности сигнала на входе приемника при распространении в свободном пространстве $P_{oc} = P_n - a_\Sigma$, где P_n – уровень мощности на выходе передатчика, значение P_{oc} получает ту же размерность, что и P_n . На диаграмме уровней пролета (рис. 1) показывают все усиления и ослабления, которые претерпевает сигнал между передатчиком и приемником (кривая 1 на рис. 1) где $P_n = 30$ дБм, $a_{\phi n} = a_{\phi np} = 3$ дБ, $q_{no} = q_{np} = 43$ дБ, $a_{ce} = 140$ дБ.

В реальных условиях распространения мощность сигнала на входе приемника отлична от P_{oc} из-за влияния земной поверхности и тропосферы. Учитывают это влияние с помощью множителя ослабления поля свободного пространства.

Поскольку состояние тропосферы непрерывно меняется, то и значение множителя ослабления меняется во времени. На диаграмме уровней (кривая 2 на рис. 1) значение $U(t)$ откладывают на конце пролета у приемной антенны.

При реальных условиях распространения мощность сигнала на входе приемника $P_{с.вх} = P_{от} V^2(t)$.

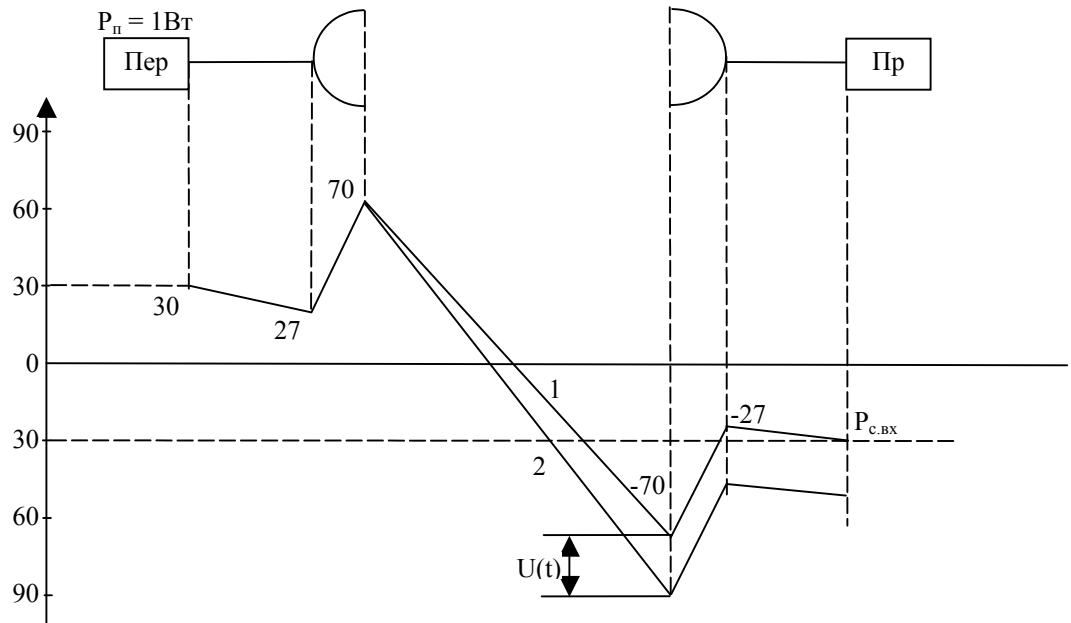


Рис. 1. Диаграмма уровней на пролете

ЛЕКЦИЯ 17

Понятие Вч ствола: телефонного (ТФ), телевизионного (ТВ), цифрового (ЦФ) стволов. Спектры их групповых сигналов. Принципы построения многоствольной дуплексной системы радиосвязи.

Для повышения пропускной способности, надежности и экономичности систем радиосвязи используется принцип многоствольной передачи. При этом на каждой станции устанавливается несколько комплектов оборудования ствола. Совокупность нескольких однотипных или разнотипных радиосистем передачи (РСП) и отдельных стволов, имеющих общие тракты распространения радиоволн, оконечные и ретрансляционные станции, а также устройства их обслуживания, образуют *многоствольную радиолинию связи – РЛС*.

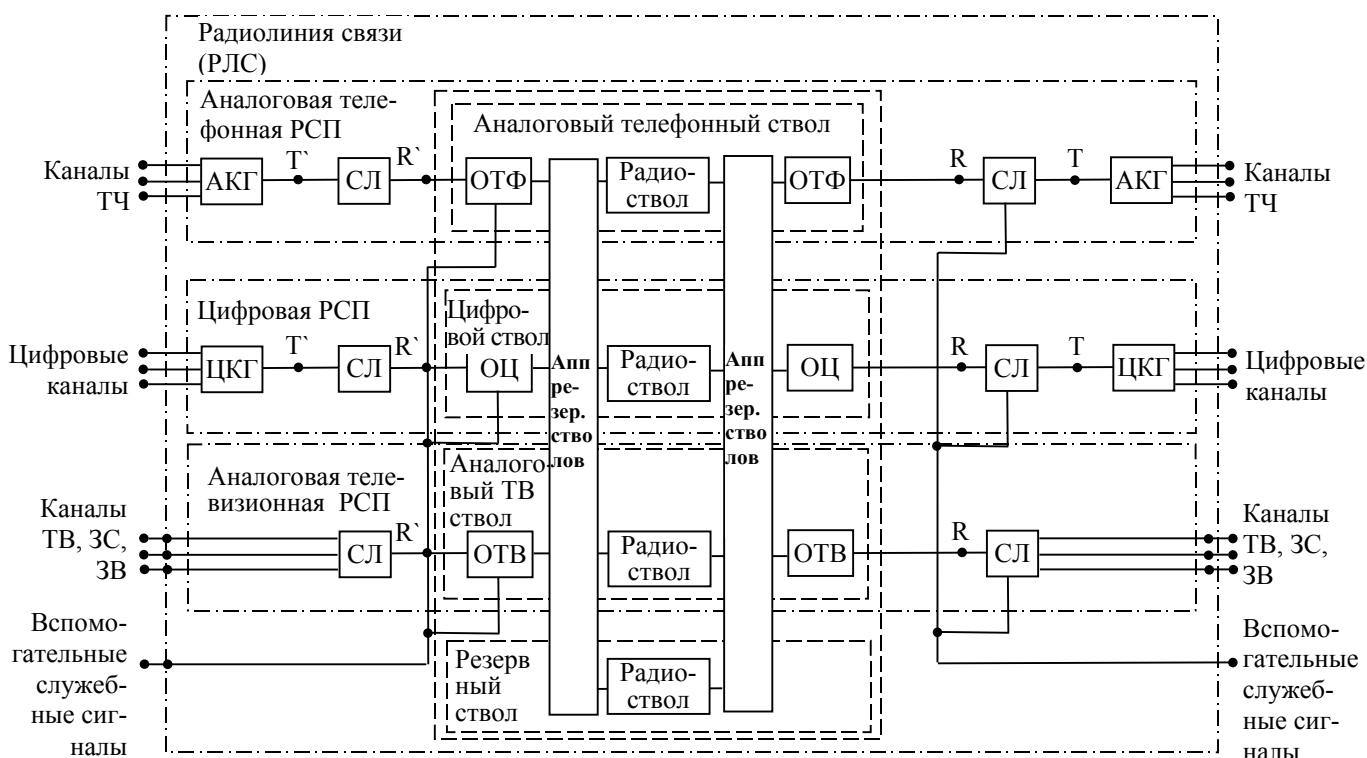


Рис. 1. Структурная схема четырехствольной радиолинии связи

На рис. 1 изображена структурная схема четырехствольной радиолинии связи, содержащей три РСР: аналоговую телефонную, цифровую, аналоговую телевизионную и отдельный резервный ствол (АКГ – аналоговое каналообразующее и групповое оборудование; СЛ – соединительная линия; ОТФ, ОЦ и ОТВ – оконечное оборудование соответственно телефонного, цифрового и телевизионного стволов: каналы ТЧ, ТВ, ЗС, ЗВ – каналы передачи тональной частоты, сигналов изображения и звуковых сигналов телевидения, сигналов звукового вещания). Совокупность стволов, входящих в состав радиолинии связи, образует *многоствольную радиолинию передачи*. В многоствольных РЛП с резервированием каждый из стволов включает в себя радиоствол, оконечное оборудование и аппаратуру резервирования, обеспечивающую переключение на резервный ствол при выходе из строя основного радиоствола. В некоторых РЛП предусмотрен отдельный ствол служебной связи, содержащий упрощенное оборудование. Использование общих антенн, фидерных трактов, источников электроснабжения, систем служебной связи и телеобслуживания, сооружений для размещения оборудования повышает экономичность многоствольных РЛП.

Современные радиосистемы передачи, используемые на сети связи, как правило, являются многоканальными, т.е. позволяют передавать по одной линии, включающей передатчики, приемники, антенны и фидеры, сообщения от многих независимых источников.

В многоканальной системе радиосвязи сообщения от N абонентов поступают на N входов аппаратуры объединения каналов (АОК). В этой аппаратуре осуществляется переход от $2N$ -проводной системы к двухпроводной. Групповое сообщение с выхода АОК через групповой усилитель (ГУ) и соединительную линию (СЛ) подается на передатчик (П), где происходит модуляция. **Совокупность всех элементов радиолинии, начиная с модулятора передатчика и кончая демодулятором приемника (Пр), называют линейным трактом (ЛТ) радиосистемы.** В общем случае структура группового тракта (ГрТ) и линейного тракта может быть весьма разнообразной.

На приемной стороне в аппаратуре разделения каналов (АРК) осуществляется обратный переход от двухпроводной системы к $2N$ -проводной для подачи сообщений к абонентам на приеме.

В качестве группового сообщения обычно используют ансамбли ортогональных сигналов. К ним, в частности, относятся сигналы с неперекрывающимися спектрами и сигналы, неперекрывающиеся во времени.

Сигналы с неперекрывающимися спектрами применяются в системах с частотным разделением каналов (ЧРК). Для этих систем характерно, что сообщения от N источников передаются одновременно, для каждого источника отводится свой частотный канал, т.е. часть полосы в ГрТ. Такой **метод передачи называется параллельным.** Существенно, что сообщения от каждого источника могут поступать в ГрТ в произвольный момент времени, т.е. система **является асинхронной.**

Сигналы, не перекрывающиеся во времени, применяются в системах с временным разделением каналов (ВРК). Особенностью этих систем является то, что сообщения от разных абонентов передаются по линии связи поочередно (последовательный метод передачи), но в общей полосе частот.

В многоканальных радиосистемах передачи с ЧРК и ВРК, в частности в радиорелейных и спутниковых, обычно используют аппаратуру объединения и разделения каналов, применяемую в проводных системах, Это обеспечивает простоту сопряжения тех и других систем и отражают общую тенденцию к унификации оборудования на сетях связи.

При одновременной работе нескольких приемников и передатчиков на общий антенно-фидерный тракт неизбежны взаимные помехи. Для того чтобы свести эти помехи к минимуму, рабочие частоты стволов в отведенном диапазоне частот располагаются по определенному плану – так называемому **плану распределения частот.**

Частотный план составляется следующим образом. Прежде всего, приемники и передатчики станции одного направления должны работать на разных частотах во избежание возникновения паразитных связей и генерации. Поэтому для передачи сигналов по одному стволу в одном направлении необходимо использовать две частоты. Для передачи сигналов в обратном направлении могут быть использованы либо те же частоты – такой план называется **двухчастотным** (рис. 2.а), либо две другие частоты – **четырёхчастотный.**

Двухчастотный план экономичнее с точки зрения использования выделенного диапазона частот, но требует применения антенн с высокими защитными свойствами от приема сигналов с обратного направления.

Четырёхчастотный план не предъявляет повышенных требований к защитным свойствам антенн и позволяет применять более простые и дешевые антенны. Однако этот план неэкономичен, так как число дуплексных стволов, которое может быть образовано в выделенном диапазоне частот при четырехчастотном плане, в 2 раза меньше, чем при двухчастотном плане.

Для предотвращения помех приемникам от сигналов передатчиков обратного направления при использовании общей антенны для приема и передачи применяется план, в котором частоты приема размещены в одной половине выделенного диапазона, а частоты передачи – в другой (рис. 2.в). Наконец, для уменьшения взаимных помех между стволами их частотные разнесения выбираются кратными определенной частоте F , при этом разнесения между частотами приема и между частотами передачи равны $\Delta f_{np-np} = \Delta F_{nd-nd} = nF$, где $n = 2, 4, 6, \dots$, а разнесения между частотами приема и передачи равны $\Delta f_{np-nd} = mF$, где $m = 5, 7, 9, \dots$. В этом случае частоты комбинационных помех типа $2f_{nd1} - f_{nd2}$ располагаются между частотами приема соседних стволов, и воздействие этих помех будет минимальным.

На рис. 2.г для примера приведен план распределения частот магистральных радиолиний связи в диапазоне 6 ГГц. План (двухчастотный) позволяет организовать восемь дуплексных широкополосных стволов с разнесенными частотами приема и передачи. Шаг сетки частотного плана $F = 14$ МГц. При этом частоты гетеродина (помечены точками на оси гетеродина) размещаются в интервалах между рабочими частотами стволов. Частоты приема и передачи в одном дуплексном стволе разнесены на величину $19F = 266$ МГц. Стволы разбиты на две перемежающиеся группы. Одна группа, например четная, используется для магистральных линий, другая (нечетная) – для линий ответвлений от магистрали. Таким образом частотные разнесения $\Delta f_{np-np} = \Delta F_{nd-nd} = 4F$ получаются в 2 раза больше, что облегчает расфилтровку сигналов соседних стволов. План рассчитан на промежуточную частоту $F_{nc} = 5F = 70$ МГц. Благодаря этому частоты гетеродинов размещаются в промежутках между частотами приема (передачи), не создавая помех другим стволом. Кроме того, одна гетеродинная частота используется для двух стволов. Аналогичное построение имеют планы частот и для других диапазонов.

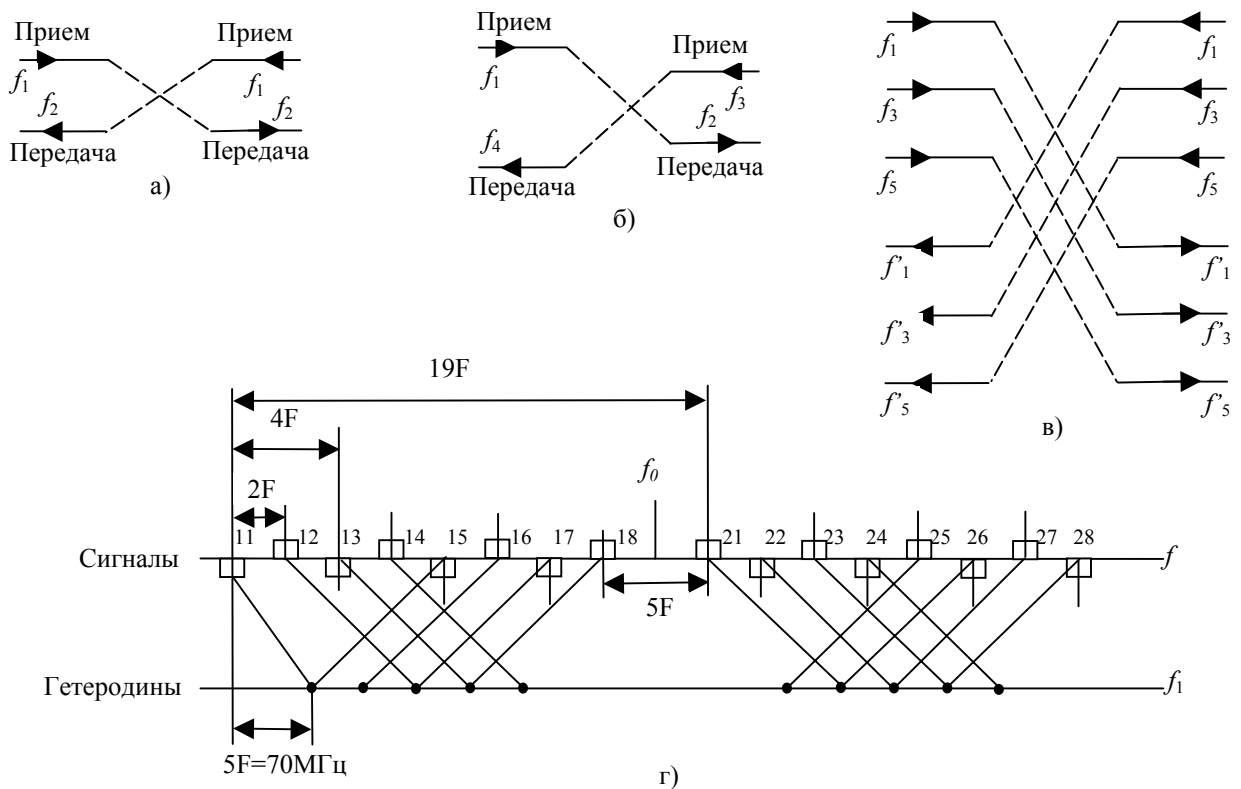


Рис. 2. План распределения частот приема и передачи при двухчастотной системе (а); при четырехчастотной системе (б); план размещения частоты приема в одной половине диапазона, а частоты передачи – в другой (в); план размещения несущих частот стволов и частот гетеродина (г).

ЛЕКЦИЯ 18

Радиорелейные линии (РРЛ) прямой видимости. Принципы построения РРЛ, типы станций, диапазоны частот. Понятие о поучастковом резервировании. Структурные схемы ОРС и ПРС при ЧРК с ЧМ. Расчет полосы частот на выходе частотного модулятора.

Радиорелейные линии (РРЛ) представляют собой цепочку приемопередающих радиостанций (оконечных, промежуточных, узловых), которые осуществляют последовательную многократную ретрансляцию (прием, преобразование, усиление и передачу) передаваемых сигналов.

В зависимости от используемого вида распространения радиоволн РРЛ можно разделить на две группы: прямой видимости и тропосферные.

РРЛ прямой видимости являются одним из основных наземных средств передачи сигналов телефонной связи, программ звукового и ТВ вещания, цифровых данных и других сообщений на большие расстояния. Ширина полосы частот сигналов многоканальной телефонии и ТВ составляет несколько десятков мегагерц, поэтому для их передачи практически могут быть использованы диапазоны только дециметровых и сантиметровых волн, общая ширина спектра которых составляет 30 ГГц. Кроме того, в этих диапазонах почти полностью отсутствуют атмосферные и промышленные помехи. Расстояние между соседними станциями (протяженность пролета) R зависит от рельефа местности и высоты подъема антенн. Обычно его выбирают близким или равным расстоянию прямой видимости R_0 . Для сферической поверхности Земли с учетом атмосферной рефракции $R_0 \cong 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$, где h_1 и h_2 – высоты подвеса соответственно передающей и приемной антенн (в метрах). В реальных условиях, в случае мало пересеченной местности $R_0 \approx 40 - 70$ км при высоте антенных мачт 60-100 м.

Возможны три типа радиорелейных станций: *оконечная (ОРС), промежуточная (ПРС) и узловая (УРС)*.

На *ОРС* производится преобразование сообщений, поступающих по соединительным линиям от междугородных телефонных станций (МТС), междугородных ТВ аппаратных (МТА) и междугородных вещательных аппаратных (МВА), в сигналы, передаваемые по РРЛ, а также обратное преобразование. На ОРС начинается и заканчивается линейный тракт передачи сигналов.

С помощью *УРС* разветвляются и объединяются потоки информации, передаваемые по разным РРЛ, на пересечении которых и располагаются УРС. К УРС относят также станции РРЛ, на которых осуществляется ввод и вывод телефонных, ТВ и других сигналов, посредством которых расположенный вблизи от УРС населенный пункт связывается с другими пунктами данной линии.

На ОРС или УРС всегда имеется технический персонал, который обслуживает не только эти станции, но и осуществляет контроль и управление с помощью специальной системы телеобслуживания ближайшими ПРС.

ПРС выполняют функции активных ретрансляторов без выделения передаваемых сигналов электросвязи и введения новых и, как правило, работают без постоянного обслуживающего персонала.

РРЛ прямой видимости можно классифицировать по различным признакам и характеристикам:

1. По назначению различают: междугородные магистральные, внутрizonовые, местные РРЛ.
2. По диапазону рабочих (несущих) РРЛ подразделяются на линии дециметрового и сантиметрового диапазонов. В этих диапазонах в соответствии с регламентом радиосвязи

для организации РРЛ выделены полосы частот, расположенные в области 2, 4, 6, 8, 11 и 13 ГГц. Ведутся исследования условий создания радиорелейной связи на частотах порядка 18 ГГц и выше. Переход на более высокие частоты позволил бы увеличить пропускную способность систем передачи. Однако использование столь высоких частот затруднено из-за сильного ослабления энергии радиоволн во время атмосферных осадков.

3. По способу уплотнения каналов и виду модуляции несущей можно выделить:

а) РРЛ с частотным уплотнением (разделением) каналов (ЧРК) и ЧМ гармонической несущей;

б) РРЛ с временным уплотнением (разделением) каналов (ВРК) и аналоговой модуляцией импульсов, которые затем модулируют несущую;

в) цифровые РРЛ, в которых отсчеты сообщений квантуются по уровням и кодируются.

4. По принятой в настоящее время классификации РРЛ разделяются на системы *большой* (600 и более каналов ТЧ в одном стволе – 100 Мбит/с), *средней* (60 – 600 каналов ТЧ), *малой* (менее 60 каналов ТЧ) емкости.

Одним из основных методов повышения надежности систем и, в частности, радиорелейных систем (РРС) является резервирование (введение избыточных элементов). При этом на РРЛ возможны различные способы резервирования.

Возможная модель соответствует случаю однократного резервирования, когда на каждый основной блок приходится лишь один резервный. В этом случае в каждой из n групп параллельно цепочке из K основных блоков, соединенных последовательно (этим учитывается, что отказ одного блока вызывает отказ всей цепи), включена идентичная цепочка резервных блоков. Под блоками здесь можно понимать не только элементы оборудования станций, но и тракты передачи радиосигналов между антеннами соседних станций.

Анализ показывает, что при поблочном резервировании вероятность безотказной работы больше, чем при резервировании линии в целом, но в первом случае резервирование усложняется тем, что требуется в m раз (где $m = Kn$ число блоков) больше коммутирующих устройств (для перехода с основного элемента на резервный) или устройств разделения и объединения сигналов (при параллельной работе основного и резервного элементов).

На практике чаще применяют промежуточные варианты резервирования: *постанционное*, когда на каждой станции для каждого ствола устанавливают основной и резервный приемопередатчики (работающие параллельно или с переключением), и *поучастковое*, когда для одного или нескольких основных стволов в пределах одного участка (например, от УРС до УРС) предусматривают оборудование резервного ствола.

Принцип автоматического постанционного резервирования реализуется в ВЧ тракте системы «Восход», где применяется параллельная работа двух передатчиков (на одинаковых частотах) и двух приемников. Для защиты от замираний сигналов приемники подключают к разным антеннам, установленным на одной мачте с разнесением по высоте. Очевидно, объем резервного оборудования в данном случае велик.

В системе поучасткового резервирования возможен вариант, когда на два рабочих ствола приходится один резервный (*система 2+1*). Приемопередающая аппаратура всех трех стволов постоянно находится во включенном состоянии (используется нагруженный резерв), но путь информационных сигналов меняется в зависимости от технического состояния стволов.

На приемной стороне участка резервирования устройства контроля состояния стволов (УКСС) и устройство управления (УУ) различают две степени неисправности стволов – *аварию слабую* (ухудшение качества) и *сильную* (полное прекращение связи). Если резерва не хватает, предпочтение в резервировании отдается стволу с сильной аварией. В случае аварии равной степени резерв занимает первый из отказавших стволов. При необходимости управление резервированием может выполняться оператором.

Кратность резервирования в поучастковой системе может быть существенно меньше единицы (соотношение резервных и основных стволов 1/7). При этом обеспечивают и достаточно эффективную защиту от замираний, для чего разносят по частоте сигналы в резервных и основных стволах. Однако снижение кратности резервирования и необходимость переключения стволов создают определенные трудности в плане обеспечения бесперебойной связи.

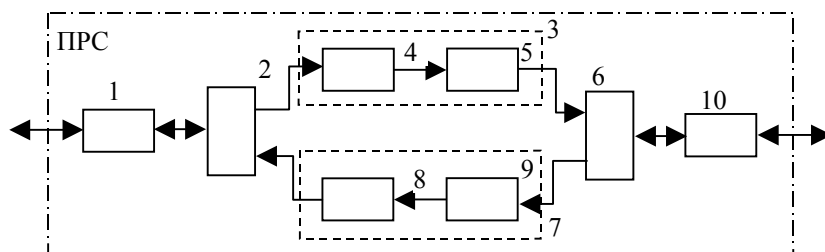


Рис. 1. Структурная схема одноствольного ретранслятора РРЛ.
1, 10 – антенны; 2, 6 – фидерные тракты; 3, 7 – приемо-передатчики; 4, 9 - приемники; 5, 8 – передатчики.

Структурная схема ретранслятора ПРС приведена на рис. 1. При активной ретрансляции сигналов на ПРС используют две антенны, расположенные на одной и той же мачте. В этих условиях трудно предотвратить попадание части мощности усиленного сигнала, излучаемого передающей антенной, на вход приемной антенны. Если не принять специальных мер, то указанная связь выхода и входа усилителя ретранслятора может привести к его самовозбуждению, при котором он перестает выполнять свои функции. Эффективным способом устранения опасности самовозбуждения является разнесение по частоте сигналов на входе ретранслятора. При этом на ретрансляторе приходится устанавливать приемники и передатчики, работающие на разных частотах. Если на РРЛ предусматривается одновременная связь в прямом и обратном направлениях, то число приемников и передатчиков удваивается, и такой ствол называется дуплексным (см. рис. 1). В этом случае каждая антенна на станциях используется как для передачи, так и для приема высокочастотных сигналов на каждом направлении связи.

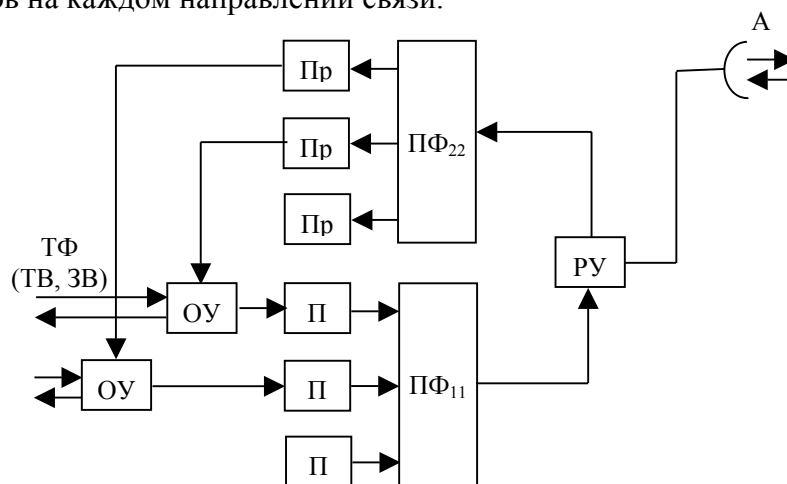


Рис. 2. Структурная схема основного оборудования ОРС

На рис. 2 представлена упрощенная структурная схема основного оборудования ОРС состоящая из трех дуплексных стволов. Схема содержит передатчики (П); приемники (Пр); оконечные устройства (ОУ), включающие модемы, усилители и другие элементы, осуществляющие преобразование групповых телефонных сообщений (ТФ) или компонентов сигналов телевизионного и звукового вещания (ТВ, ЗВ) в сигналы линейного тракта, а также обратное преобразование; системы полосовых фильтров (ПФ), каждый из которых

имеет полосу прозрачности, соответствующую одному стволу при односторонней связи; в режиме передачи ПФ обеспечивает необходимую развязку передатчиков (ПФ₁₁); в режиме приема системы ПФ являются разделительными фильтрами: из суммарного ВЧ сигнала каждый полосовой фильтр системы выделяет сигнал одного ствола и направляет его в соответствующий приемник (ПФ₂₂); развязывающие устройства (РУ), задачей которых является дополнительное уменьшение взаимовлияния трактов передачи и приема: ряд элементов этих трактов, таких, например, как фидеры и антенны (А), как правило, являются общими.

В многоканальных РСП имеются две ступени модуляции. С помощью первой ступени формируется многоканальный сигнал.

В системах передачи с частотным разделением каналов ЧРК в первой ступени применяется однополосная модуляция.

ЛЕКЦИЯ 21

Построение диаграммы уровней сигнала ССС. Понятие о эффективной шумовой температуре приемной установки. Понятие ЭИИМ передатчика и добротности приемника. Основные принципы многостанционного доступа в ССС: МДЧР, МДВР, МДКР.

Спутниковая линия связи (рис. 1) содержит участок 1 (линия «вверх») и участок 2 (линия «вниз»). При определении уровней входных сигналов должны быть известны энергетические параметры аппаратуры, указанные на рис. 1. Их удобно вычислять в децибелах, а мощности передатчиков – в децибел-ваттах. Обозначения параметров соответствуют принятым выше, причем параметры аппаратуры ЗС имеют индекс «з», а КС – индекс «б» (бортовая аппаратура).

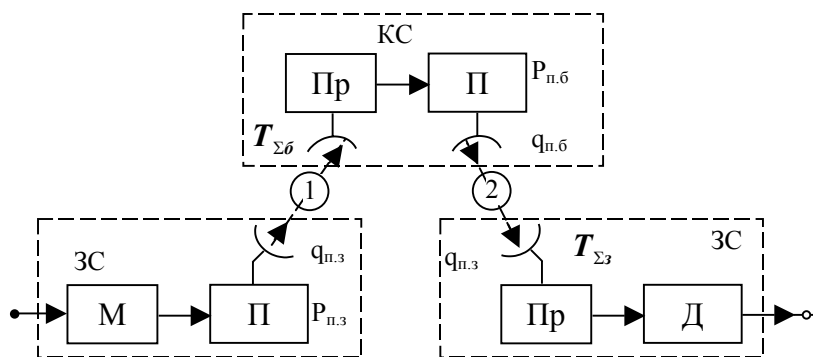


Рис. 1. К расчету спутниковой линии связи

В ССС принято характеризовать передающие станции значениями ЭИИМ. Для пояснения понятия ЭИИМ рассмотрим один из параметров антенн. Коэффициент усиления антенны G показывает, во сколько раз придется увеличить подводимую мощность, если данную направленную передающую антенну заменить ненаправленной, при условии, что напряженность поля в точке приема не изменится. Коэффициент усиления характеризует способность передающей антенны сконцентрировать основную часть излучаемой мощности в главном направлении, которая получила название эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (ЭИИМ)

$P_u = P_n \eta_n G$, где P_n – мощность передатчика; η_n – КПД передающего фидера.

Принято указывать коэффициент усиления в децибелах, т.е. $q = 10 \lg G$. Коэффициент усиления антенны в любом направлении, отличном от главного, приводят вместе с указанием угла ДН, т.е. в виде $q(\Theta)$.

С учетом сказанного получим

$$P_{u.z} = P_{n.z} + q_{n.z} - \alpha_{ф.п.з};$$

$$P_{u.б} = P_{n.б} + q_{n.б} - \alpha_{ф.п.б}, \text{ где } P_{u.z} \text{ и } P_{n.б} - \text{ЭИИМ ЗС и КС, выраженные в децибелват-}$$

тах.

Основные уравнения передачи для участков 1 и 2.

$$P_{с\text{ вх.б}} = P_{u.z} + q_{п.б} - \alpha_{ф.п.б} - \alpha_{\Sigma 1},$$

$$P_{с\text{ вх.з}} = P_{u.б} + q_{п.з} - \alpha_{ф.п.з} - \alpha_{\Sigma 2},$$

где $P_{с\text{ вх.б}}$ и $P_{с\text{ вх.з}}$ – уровни мощности сигнала на входах КС и ЗС соответственно; $\alpha_{\Sigma i} = \alpha_{св} + \alpha_{атм} + \alpha_{\delta} + \alpha_n + \alpha_{\delta p}$ – суммарное ослабление сигнала на участках 1 и 2 (соот-

ответственно $i = 1$ и $i = 2$); $a_{амм}$ – потери, обусловленные поглощением радиоволн в спокойной атмосфере (без дождя); $a_{д}$ – ослабление в дождях (гидрометеорах); a_n – потери, возникающие вследствие несовпадения плоскостей поляризации сигнала и антенны; $a_{др}$ – потери из-за дополнительных факторов.

Значение $a_{св}$ – можно рассчитать по формуле $\alpha_{св} = 20 \lg(4\pi R_0 / \lambda)$, если положить, что $R_0 = L$, где L – расстояние между антеннами ЗС и КС. Значения $a_{амм}$, $a_{д}$, a_n и $a_{др}$ – определяют по соответствующим графикам. При ориентировочных и учебных расчетах $a_{др} = 0$. Результаты расчета сводят в таблицу, считая известными:

$$P_{н.з} = 3 \text{ кВт}, D_1 = 12 \text{ м (перед. ЗС)}, D_2 = 2,5 \text{ м (прием. ЗС)}.$$

$$P_{н.б} = 40 \text{ Вт}, L = 40000 \text{ км}, a_{ф.нр.з} = a_{ф.нр.б} = 0,5 \text{ дБ}, a_{ф.н.з} = a_{ф.н.б} = 1 \text{ дБ},$$

$$a_{амм} + a_{д} + a_n = 1 \text{ дБ}, a_{др} = 0 \text{ дБ}.$$

Тепловые шумы на входе приемника. Приемная установка, состоящая из приемника, фидера и антенны (рис. 2), имеет суммарную эффективную шумовую температуру.

$$T_{\Sigma} = T_A \eta_{нр} + T_0(1 - \eta_{нр}) + T_3,$$

где T_A – эффективная шумовая температура антенны.

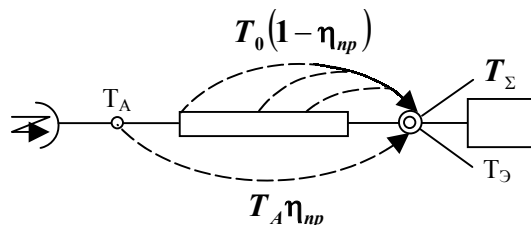


Рис. 2. К определению шумовой температуры приемной системы

Эффективную шумовую температуру (ЭШТ) антенны определяют действующие на нее внешние источники излучения. Антенна ЗС направлена на ИСЗ. Она «видит» космос и атмосферу, а через боковые лепестки ДН также и Землю. Эффективная шумовая температура антенны ЗС $T_{АЗС} = T_K + T_{АТМ}(\beta) + \xi T_3 + \Delta T$, где ξ – коэффициент, учитывающий прием шумового излучения боковыми лепестками ДН антенны, T_3 – ЭШТ Земли, ΔT – приращение ЭШТ, обусловленное омическими потерями в антенне.

Значения T_K и $T_{АТМ}(\beta)$ могут быть найдены по кривым на которых показаны эффективные температуры шумов космических источников T_K и шумов спокойной (без дождя) атмосферы $T_{АТМ}$ на входе антенны ЗС. При дожде ЭШТ атмосферы на частотах выше 5 ГГц растет. В зависимости от типа антенны получают $\xi = 0,2 \dots 0,4$; $T_3 = 290 \text{ К}$. В большинстве случаев $\Delta T = 0$. На практике наблюдается заметное приращение ЭШТ у антенн, имеющих отражатель из металлизированного стеклопластика, а также во время дождя у антенн, укрытых обтекателем. Дополнительные омические потери (и шумы) в этом случае создает водяная пленка на обтекателе.

Антенна КС главным лепестком ориентирована на Землю. Если она дает прямой луч, то ее ЭШТ $T_{АКС} = T_3 + T_{АТМ}(90^\circ) + 2\xi T_K$.

Приведенные формулы и соответствующие кривые позволяют рассчитать суммарную ЭШТ приемной установки как ЗС $T_{\Sigma ЗС}$, так и КС $T_{\Sigma КС}$. Также можно найти мощность ТШ $P_{ш.вх} = k T_{\Sigma} \Pi$, где T_{Σ} – суммарная эффективная шумовая температура приемной установки (вместе с антенной и АФТ) и уровень этой мощности на входе приемника $p_i = 10 \lg P_i$, где мощность P_i выражена в милливаттах.

Для характеристики приемных станций введен специальный параметр, называемый добротностью ЗС (в дБ/К), $D = q_{нр.з} - 10 \lg T_{\Sigma ЗС}$.

Стоимость приемных ЗС растет с увеличением их добротности. Станции имеющие относительно невысокую добротность, могут работать только с такими передающими КС,

которые создают достаточно большую ЭИИМ.

Многостанционный доступ (МД) позволяет реализовать одну из особенностей спутниковой связи – возможность работы всех ЗС, расположенных в зоне обслуживания, через один ИСЗ. На рис. 3.а показана система МД для шести ЗС, работающих по принципу «каждая с каждой».

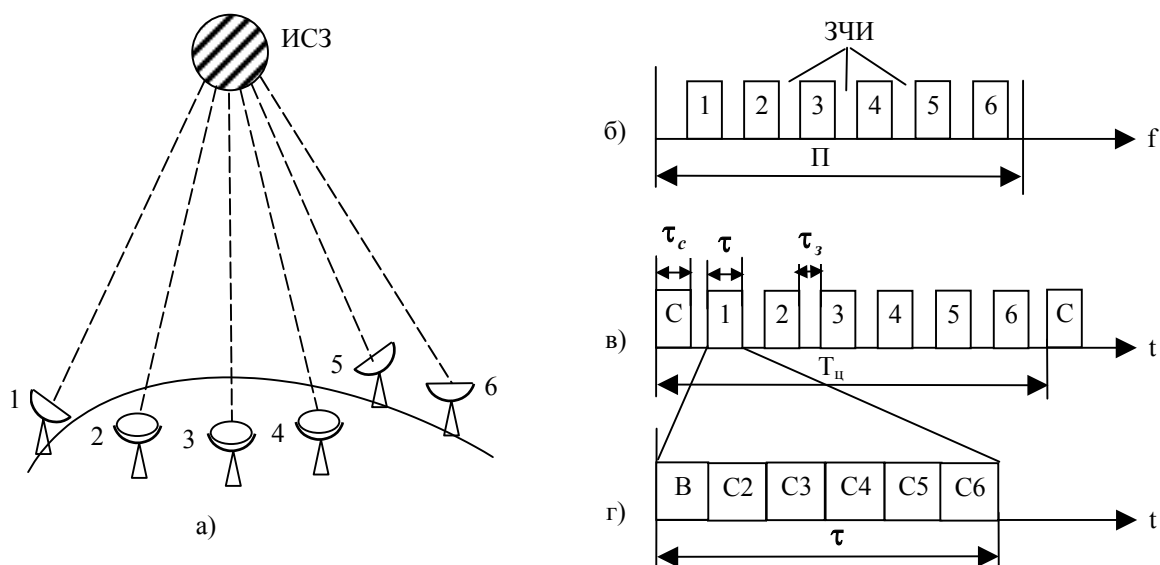


Рис. 3. К пояснению принципа многостанционного доступа

Причем КС может иметь одну приемопередающую антенну для работы со всеми ЗС. Существуют системы многостанционного доступа с частотным разделением (МДЧР), временным разделением (МДВР) и кодовым разделением (МДКР).

При МДЧР полосу частот ретранслятора Π разделяют между всеми ЗС (рис. 3.б). Полосы 1-6, выделенные для соответствующих ЗС, отделены друг от друга защитными частотными интервалами (ЗЧИ). Последние необходимы, чтобы уменьшить переходные помехи между сигналами соседних ЗС, возникающие при одновременном прохождении сигналов через нелинейные устройства. Так что не вся полоса частот ретранслятора занята передаваемыми сигналами. Введение ЗЧИ уменьшает пропускную способность ретранслятора, т.е. снижает эффективность использования его полосы.

Режим УМ на КС выбирают таким образом, чтобы точка, соответствующая пиковой мощности входного сигнала при МДЧР, лежала на линейном участке АХ. При этом получают малые нелинейные искажения, но снижается эффективность использования мощности ретранслятора.

Снижение эффективности использования полосы и мощности ретранслятора КС – существенный недостаток систем с МДЧР. Еще один недостаток этих систем - необходимость поддержания одинаковых уровней мощности всех принимаемых сигналов на КС с точностью не ниже 0,5 дБ, поскольку когда сигналы с разными уровнями одновременно проходят через нелинейные устройства ретранслятора, то происходит подавление слабого сигнала сильным.

Основной недостаток метода МДЧР (FDMA) – недостаточно эффективное использование полосы частот. Эффективность заметно повышается при переходе к более совершенному методу МДВР (TDMA).

В системах с МДВР применяют цифровые методы модуляции. При МДВР период одного цикла передачи $T_{ц}$ распределяется между всеми ЗС (рис. 3.в). В начале цикла выделяют время τ_c для передачи сигналов общесистемной синхронизации, так называемого синхропакета $\underline{С}$. Интервалы времени τ , обозначенные цифрами 1-6 отведены для передачи сигналов с соответствующих ЗС. Их называют информационными пакетами станций.

Пакеты отделены друг от друга защитными временными интервалами. Последние необходимы, чтобы не допустить перекрытия пакетов при неидеальной системе синхронизации. Тем более, что с ростом числа ЗС время, отводимое для работы с каждой из них, сокращается, а требования к точности общесистемной синхронизации возрастают. Сложность системы синхронизации – основной недостаток ССС с МДВР. В то же время они не требуют регулировки мощности передатчика ЗС в отличие от ССС с МДЧР и повышают эффективность использования выделенной полосы частот.

Кроме этих двух методов получает распространение множественный доступ с кодовым разделением (МДКР).

В этом методе большая группа пользователей одновременно используют общую относительно широкую полосу частот. Информационные каналы (от отдельных пользователей) при таком способе разделения среды создаются присвоением каждому из них отдельного кода, который распространяется по всей ширине полосы. В данном случае не существует временного разделения, а все пользователи постоянно используют всю ширину канала. Вещание пользователей накладывается друг на друга, но поскольку их коды отличаются, они могут быть легко дифференцированы. Как и МДВР, метод МДКР может быть реализован только в цифровой форме.

Метод МДКР обладает сравнительно высокой помехоустойчивостью и хорошо работает в условиях многолучевого распространения, но все это достигается обязательным использованием достаточно сложных технических решений и других требований.

ЛЕКЦИЯ 22

Принципы построения систем подвижной радиосвязи.

Классификация систем подвижной радиосвязи: сотовая, транкинговая, персонального радиовызова, персональная спутниковая.

В последние годы во многих странах ведется интенсивное внедрение сотовых систем подвижной связи. Такие сети предназначены для передачи данных (ПД) и обеспечения подвижных и стационарных пользователей телефонной связью. Передача данных подвижному абоненту резко расширяет его возможности, поскольку, кроме телефонных, он может принимать телексы и факсимильные сообщения, различного рода графическую информацию и многое другое.

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 подвижной связи созданы с целью максимального удовлетворения на современном мировом уровне потребностей абонентов в услугах связи с возможностью выхода в телефонную сеть общего пользования (ТфОП).

Сети сотовой подвижной связи. Среди современных телекоммуникационных средств стремительно развиваются сети сотовой радиотелефонной связи. Их внедрение позволило решить проблему экономичного использования выделенной 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).

Система сотовой связи – это сложная и гибкая техническая система допускающая большое разнообразие по вариантам конфигурации и набору выполняемых функций. Она может обеспечивать передачу речи и других видов информации, в частности факсимильных сообщений и компьютерных данных. Для передачи речи, в свою очередь, может быть реализована обычная двусторонняя и многосторонняя телефонная связь (конференцсвязь – с участием в разговоре более двух абонентов одновременно), голосовая почта. При организации обычного телефонного разговора возможны режимы автодозвона, ожидания вызова, переадресации (условной или безусловной) вызова и другие дополнительные виды обслуживания.

Использование современной технологии позволяет обеспечить абонентам таких сетей высокое качество речевых сообщений, надежность и конфиденциальность связи, миниатюрность радиотелефонов, защиту от несанкционированного доступа (НСД) в сеть.

Сети транкинговой связи (СТС) 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.**

Название транкинговой связи происходит от английского trunk (ствол) и отражает то обстоятельство, что ствол связи в такой системе содержит несколько физических (как

правило частотных) каналов, каждый из которых может быть предоставлен любому из абонентов системы. Указанная особенность отличает СТС от предшествовавших ей систем двусторонней радиосвязи, в которых каждый абонент имел возможность доступа лишь к одному каналу, но последний должен был обслуживать ряд абонентов. СТС в сравнении с такими системами обладает значительно более высокой емкостью (пропускной способностью) при тех же показателях качества обслуживания.

Если использовать аналогию с сотовой связью, то в простейшем случае СТС – это одна ячейка сотовой системы, но при несколько специфическом наборе услуг. 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 сотовой сети производится дополнительное дробление ячеек с соответствующей модификацией частотного плана (распределения 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 сетью мощность передатчика, большой расход энергии источника питания, большие габариты и масса АТ.**

Даже, если СТС строится в виде нескольких ячеек (многозоновая система), это делается в первую очередь ради расширения зоны действия, а не ради повышения емкости, и размеры ячеек остаются достаточно большими. Централизованное управление совокупностью зон остается при этом ограниченным, как и передача обслуживания из зоны в зону, которая, если она вообще реализуется, приводит к кратковременному прерыванию связи.

Основное применение СТС – корпоративная (служебная, ведомственная связь), например, оперативная связь пожарной службы с числом выходов (каналов) «в город», значительно меньшим числа абонентов системы.

Основными требованиями, предъявляемыми абонентами и операторами к профессиональным СТС, **являются**: обеспечение связи в заданной зоне обслуживания независимо от местоположения мобильных (подвижных) абонентов; возможность взаимодействия отдельных групп абонентов и организации циркулярной связи; оперативность управления связью, в том числе на различных уровнях; обеспечение связи через центры управления; возможность приоритетного установления каналов связи; низкие энергетические затраты подвижной станции (ПС), конфиденциальность разговоров.

Сети персонального радиовызова (СПР), или пейджинговые сети (paging-вызов) – это сети односторонней мобильной связи, обеспечивающие передачу коротких сообщений из центра системы (с пейджингового терминала) на миниатюрные абонентские приемники (пейджеры).

В простейшем случае СПР состоит из пейджингового терминала (ПТ), базовой станции (БС) и пейджеров. Терминал, включающий пульт оператора и контроллер системы, выполняет все функции управления системой. БС состоит из радиопередатчика и антенно-фидерного устройства и обеспечивает передачу пейджинговых сигналов на всю зону действия системы, радиус которой может составлять до 100 км. Пейджеры осуществляют прием тех сообщений, которые им адресованы. В более сложных случаях СПР может иметь несколько радиопередатчиков, по возможности равномерно распределенных в пределах зоны действия, что позволяет более надежно обеспечить связью всю зону.

В СПР могут передаваться сообщения четырех типов: тональные, цифровые, буквенно-цифровые (БЦ), речевые. Тональные сообщения были единственным типом сообщений в ранних моделях пейджеров. **Цифровое сообщение** может содержать номер телефона, по которому следует позвонить. Наиболее распространенное **БЦ** сообщение может содержать практически любой текст, длиной до 100-200 и более символов. Цифровые или БЦ сообщение может отображаться на дисплее пейджера, который может иметь от одной до восьми строк, до 12-20 символов в строке. Длинные сообщения отображаются

по частям. Передача речевых сообщений пока распространения не получила. Вызов абонента, т.е. адресация сообщения, может осуществляться одним из трех способов: *индивидуально, нескольким абонентам (общий вызов)* или *группе абонентов (групповой вызов ГВ)*. В первом случае вызов адресуется конкретному абоненту по его индивидуальному номеру, во втором - нескольким абонентам с последовательной передачей их индивидуальных номеров, в третьем – вызов адресуется одновременно группе абонентов по общему групповому номеру. Сообщения подлежащие передаче, также вводятся в систему одним из трех способов: *голосом* через телефонную сеть (ТС) и оператора пейджинговой связи; через ТС *с тональным номером* – сообщение набирается на клавиатуре телефонного аппарата (ТА) и проходит сразу на пейджинговый терминал (ПТ) минуя оператора; через ТС с ПК *с набором сообщения на пульте компьютера* и выходом также непосредственно на ПТ.

Основная отличительная особенность пейджинговой связи, имеющая качественный характер – асинхронная передача информации, т.е. работа вне реального времени (РВ), 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. В сочетании с краткостью сообщений, передаваемых, как правило, только в одну сторону, обеспечивается весьма эффективное использование канала связи, по меньшей мере на два порядка более эффективное (по числу обслуживаемых абонентов), чем в сотовой связи, даже с учетом повторного использования частот в последней. В результате пейджинг оказывается технически проще и экономичнее сотовой связи, т.е. в конечном итоге значительно дешевле для абонента.

Сети персонального радиовызова предоставляют услуги удобного и относительно дешевого вида мобильной связи, но с существенными ограничениями: связь односторонняя не в речевом виде (РВ) и только в виде коротких сообщений. Поэтому пейджинг удачно дополняет сотовую связь, но никак не заменяет обычного телефонного общения, позволяющего вести диалог в РВ. СПР получили в мире довольно широкое распространение – в целом того же порядка, что и сети сотовой связи, хотя их распространенность в разных странах существенно различается.

Сети мобильной спутниковой связи в последние годы все более активно развиваются наряду со ставшими уже общедоступными сотовыми и персонального радиовызова. 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; использование спутниковой связи в дополнение к существующей сотовой, например, для обеспечения роуминга при несовместимости стандартов или в каких-либо чрезвычайных ситуациях; стационарная беспроводная связь, например, в районах с малой плотностью населения при отсутствии проводной связи; при передаче информации в глобальном масштабе; в акваториях мирового океана; в местах разрывов наземной инфраструктуры и т.д.

Например, 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. И хотя предполагается, что к началу XXI века сотовыми сетями связи будет охвачено более 15% земной поверхности, организация связи с их помощью не всегда представляется возможной. Во многих регионах мира спрос на услуги подвижной связи может быть эффективно удовлетворен только с помощью спутниковых систем.

Таким образом, спутниковая связь достаточно органично сочетается с сотовой. Практически во всех системах подвижной спутниковой связи (СПСС) предусматривается довольно высокая степень интеграции с сотовой связью; в частности, кроме абонентского терминала (АТ), предназначенных для спутниковых систем, предполагается создание

двухрежимных терминалов, предназначенных для работы в спутниковой системе и в каком-либо из сотовых стандартов. Для абонентов пользование спутниковым терминалом не требует специальных знаний. Набор номера производится пользователем с помощью клавиатуры, как и при пользовании обычным телефонном. Система автоматически выделяет свободный канал и закрепляет его за собеседниками на время разговора. Как правило, используется уплотнение (временное, частотное или кодовое), хорошо зарекомендовавшее себя в многоканальной связи.

Различные СПСС обладают своими особенностями, обусловленными, главным образом, характеристиками их орбитальных группировок, но в сфере пользовательских характеристик и предоставляемых услуг они имеют много общего (как между собой, так и с наземными сотовыми системами). Передача всех видов информации ведется в цифровой форме со скоростями от 1200 до 9600 бит/с. Телефонный режим организуется с помощью встроенных в АТ устройств преобразования скорости передачи сигналов. Кроме дуплексной телефонной связи, персональные АТ позволяют подключить компьютер и поддерживают разнообразный набор услуг, таких как передача факсимильных сообщений, электронная и голосовая почта, персональный вызов и приоритетное обслуживание, шифрование, а также определение местоположения МА.

При проектировании и внедрении систем космической связи особое внимание уделяется их сопряжению с наземными сетями, прежде всего, с центрами или узлами коммутации того или иного уровня, использованию международных стандартов (МС) для сетевых интерфейсов и протоколов обмена, сигнализации, нумерации.

ЛЕКЦИЯ 24

Особенности построения транкинговой радиосвязи, сетей персонального радиовызова, низкоорбитальных систем персональной спутниковой связи. Понятие о частотно-территориальном планировании сетей подвижной радиосвязи. Интеграция существующих технологий к системам подвижной связи 3-го поколения.

Транкинговые системы связи (ТСС) классифицируют по следующим признакам:

1. По методу передачи речевой информации: аналоговые и цифровые;
2. В зависимости от количества БС и общей архитектуры: однозоновые и многозоновые системы;
3. По методу объединения БС в многозоновых системах;
4. По типу многостанционного доступа FDMA, FDMA+TDMA;
5. По способу поиска и назначения канала: системы с децентрализованным и централизованным управлением;
6. По типу канала управления (КУ). Все КУ являются цифровыми. Различают системы с выделенным частотным КУ и системы с распределенным КУ;
7. По способу удержания канала, ТСС позволяют абонентам удерживать канал связи на протяжении всего разговора или только на время передачи (полудуплекс).

Однозоновая ТСС состоит из БС (куда входят ретрансляторы, устройство объединения радиосигналов, антенны), а также из коммутатора, устройства управления (УУ) и интерфейсов к различным внешним сетям.

ТСС предоставляют абонентам возможность производить внутри системы индивидуальный (персональный) и групповой (диспетчерский) вызовы (ГВ). Многие ТСС предусматривают обработку вызовов с несколькими уровнями приоритета. Доступ к ТфОП имеют лишь немногие абоненты ТСС. В многозоновых ТСС осуществляется отслеживание текущего местоположения абонентов, при перемещении абонента из одной зоны в другую обеспечивается регистрация и назначение новых каналов доступа (роуминг).

В ТСС ПД является дополнительной службой. В некоторых ТСС предусмотрена возможность непосредственной связи абонентов без участия ретранслятора (абоненты вне зоны действия ретрансляторов системы). Предусматривается удаленное управление работой радиостанций.

Аналоговые стандарты ТС – MPT 1327, Smartnet, LTR, SmarTrunk, Startsite, MuttiNet, FASTNet, ESAS.

Цифровые стандарты EDACS, APCO 25, TETRA, TETRADOL, IDEN.

Системы персонального радиовызова (пейджинг). По способу передачи сигналов пейджинговые системы связи (ПСС) можно разделить на два типа: с односторонней (ОС) и двухсторонней (ДС) связью. Наибольшее распространение сейчас имеют односторонние ПСС, которые предполагают сплошное покрытие всей зоны обслуживания. Такие системы имеют интерфейс доступа, пейджинговый контроллер сети, контроллер зоны обслуживания и БС.

В общем случае пейджинговые компании предоставляют следующий набор услуг: справочная служба; средства отправки сообщений с компьютера; с радиотелефона; с телефонов ГТС (с телефона DTMF с функцией «голосового почтового ящика»); с удаленных терминалов; виртуальный пейджер; средства охранной, аварийной и другой сигнализации; сигнальные системы 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 ОС 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. Даже лучшие пейджинговые компании не могут обеспечивать при ОС стопроцентной гарантии доставки сообщения, поскольку пользователь может оказаться вне их зоны обслуживания.

При построении систем ДС к стандартному пейджинговому приемнику добавляется маломощный передатчик, который при получении сообщения автоматически посылает в сеть подтверждение о получении информации.

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.

Размеры рабочей зоны пейджинговых сетей могут быть значительно увеличены путем применения **сотовой организации связи** – увеличением числа и рационализацией размещения БС, применяется в крупных городах и при организации региональных и федеральных сетей.

Ведомственные (локальные) пейджинговые сети построены по радиальному принципу и используются в рамках какого-либо предприятия для обеспечения оперативной связи, радиус действия до 5 км. Городские пейджинговые сети (ГПС) – большой радиус действия (десятки километров) и большое количество абонентов (несколько тысяч). При построении региональной пейджинговой сети (РПС) используют такой же принцип построения, как и сети сотовой связи. Для устранения взаимных влияний (интерференции) сигналов соседних радиопередающих устройств применяется либо синхронное вещание (СВ), либо временное разделение (ВР) передаваемых сообщений – нашел практическое применение.

Федеральная сеть персонального радиовызова (ФСРП) предназначена для обслуживания пользователей в пределах страны и должна иметь возможность интеграции с аналогичными зарубежными сетями. Обязательное предоставление роуминга по всей стране и в ближнем и дальнем зарубежье.

В спутниковых системах персонального радиовызова используется кодовое уплотнение каналов и переход на частоты СВЧ – диапазона, высокая скорость передачи информации (64 кбит/с и более).

Применяется большое количество стандартов кодирования на которых основаны протоколы обмена СПР (стандарты: Twotone, POCSAG, ERMES - общеевропейский стандарт, высокоскоростной стандарт FLEX в 5 раз) > чем POFSA, стандарт RDS предназначен для передачи пейджинговых сообщений по каналам радиовещания ЧМ в диапазоне УКВ.

В космических системах персональной связи, используются спутники, которые могут находиться на различных орбитах. Для решения задач персональной радиосвязи применяют следующие типы спутников: **высокоорбитальные** или **геостационарные** (GEO) – с круговыми экваториальными орбитами высотой около 40 тыс.км; при этом период обращения спутника вокруг Земли равен 24ч. т.е. спутник оказывается неподвижным относительно Земли: он постоянно «висит» над одной и той же точкой экватора; **среднеорбитальные** (MEO) – с круговыми орбитами высотой порядка 10 тыс.км; **низкоорбитальные** (LEO) – с круговыми орбитами высотой 700-1500 км.

Высота орбит КА выбирается на основании анализа многих факторов, включая энергетические характеристики радиолиний, задержку при распространении радиоволн,

размеры и расположение обслуживаемых территорий, способ организации связи и требования по обеспечению необходимого значения угла места КА.

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 спутника-ретранслятора (СР) и абонента увеличивается. Таким образом, с увеличением высоты орбиты увеличиваются время и размеры зоны обслуживания и, следовательно, требуется меньшее число спутников для охвата одной и той же территории.

Геостационарные КС обладают двумя важными преимуществами: спутники всегда находятся над определенной точкой Земли; система, состоящая из трех геостационарных спутников, практически обеспечивает глобальный обзор земной поверхности. Однако в этом случае оказывается большое время распространения радиосигналов, что приводит к задержкам передачи сигналов при радиотелефонной связи.

Одним из направлений развития ССС являются системы связи на базе низкоорбитальных КА, высота орбит которых 700-1500 км, массой до 500 кг, с числом КА в ОГ от одного до нескольких десятков. Это связано с возможностью предоставления ими услуг персональной связи, включая радиотелефонный обмен, при использовании сравнительно дешевых малогабаритных СТ. Такие системы позволяют обеспечить бесперебойную связь с терминалами, размещенными в любой точке Земли, и практически не имеют альтернативы при организации связи в регионах со слабо развитой инфраструктурой связи и низкой плотностью населения.

В состав ОГ системы Globalstar входят 48 низкоорбитальных СР, размещенных на восьми круговых орбитах (по шесть спутников на каждой). Высота орбит над поверхностью Земли составляют 1414 км. Параметры орбиты выбраны так, чтобы обеспечить максимальную частоту обслуживания абонентов в средних широтах. Полярные области (выше 70 с.ш. и 70 ю.ш.) космическим сегментом не обслуживаются. В системе Globalstar не предусмотрены межспутниковые связи, однако она рассчитана на постоянное двукратное покрытие земной поверхности, которое позволяет: обеспечить непрерывную связь при переходе абонента из зоны действия одного луча в зону действия другого луча одного и того же спутника и из зоны действия одного спутника в зону действия другого.

Высокое качество телефонной связи достигается благодаря применению шумоподобных широкополосных сигналов (ШПС) с кодовым разделением каналов.

В России разработано несколько проектов низкоорбитальных ССС: «Гонец», «Глобсат», «Курьер», «Коскон», «Сигнал», «Урал» и др. В состав ОГ системы «Гонец» входят 45 СР, расположенных на 5 квазиполярных орбитах по 9 спутников на каждой. Высота орбит 1400 км. Основные характеристики: **время ожидания сеанса связи**: при глобальном обслуживании – не более 5 мин., при обслуживании территории РФ – не более 1 мин.; **время доставки сообщений в режиме электронной почты** при глобальном обслуживании – не более 3ч., в зоне 4000 км – в РМВ, **пропускная способность системы** при обслуживании территории РФ – до 30 Мбайт в сутки, при глобальном обслуживании – до 100 Мбайт в сутки.

В системе спутниковой связи «Сигнал» 48 КА (по 12 КА на каждой из орбит, расположенных в 4-х плоскостях). На территории России после полного развертывания системы предполагается размещение 6-ти БС (в Москве, Самаре, Екатеринбурге, Томске, Чите и Комсомольске-на-Амуре).

Проектирование – один из наиболее сложных и ответственных этапов развертывания ССС, поскольку он должен обеспечить возможно более близкое к оптимальному построение сети по критерию эффективность – стоимость. При проектировании необходимо определить места установки БС и распределить имеющиеся частотные каналы между ячейками (составить территориально-частотный план в соответствии с принципом повторного использования частот) таким образом, чтобы обеспечить обслуживание сотовой

связью заданной территории с требуемым качеством при минимальном числе БС, т.е. при минимальной стоимости инфраструктуры сети.

Проектирование начинается с создания электронной карты территории, т.е. с переноса в компьютер топографической карты местности со всеми параметрами и характеристиками существенными для составления проекта. Затем с учетом характеристик намечаемой к использованию аппаратуры и результатов приближенной оценки энергетического баланса производится предварительное проектирование ячеек сети и позиций БС. Для полученной схемы с использованием имеющихся моделей распространения радиоволн и характеристик местности более точно рассчитываются характеристики электромагнитного поля в пределах обслуживаемой территории, позволяющие оценить качество покрытия. Для той же схемы составляется территориально-частотный план (распределение частотных каналов по ячейкам в соответствии с принципом повторного использования частот), а также оцениваются трафик и емкость для характерных участков и сети в целом. Если по каким-либо показателям (качество покрытия, трафик, емкость) составленная схема сети не удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям, производится ее корректировка, и для уточненной схемы указанные выше расчеты повторяются. Таким образом, процесс проектирования является итерационным.

Кроме того, в проектируемой сети обязательно производятся экспериментальные измерения характеристик электромагнитного поля, и по результатам измерений схема сети также корректируется. Окончательно качество проекта оценивается уже на этапе эксплуатации сети, где также неизбежны его корректировка и доработка. Доработки проекта требуются по мере развития и совершенствования сети, для повышения ее качества.

Дальнейшие перспективы сотовой связи непосредственно связаны с развитием системы мобильной связи третьего поколения.

Работы в этом направлении были начаты в 1986г. Соответствующая перспективная система мобильной связи была названа FPLMTS (наземная система мобильной общественной электросвязи будущего); в 1995г. она была переименована в IMT-2000 (Международная система мобильной электросвязи - 2000). В ходе дальнейшей проработки системы IMT-2000 наибольшее внимание было уделено перспективным требованиям рынка по расширению номенклатуры услуг, предоставляемых абоненту, использующему многофункциональный ручной терминал, в движении. Важным требованием по мере разработки рекомендаций стала максимальная унификация характеристик интерфейсов IMT-2000 с целью объединить различные существующие цифровые СПС в инфраструктуру, способную обеспечить перспективные потребности рынка с максимально возможным сохранением затрат, понесенных на создание развивающихся систем 2-го поколения. Прежде всего это касается стандартов GSM, DCS-1800, DECT, ERMES, TETRA, а также D-AMPS, CDMA и NMT-450, которые могут использоваться для предоставления услуг сетей связи 3-го поколения.

Предполагается, что системы 3-го поколения смогут обеспечить мобильную связь со всеми видами услуг, с глобальным роумингом и широким набором возможностей мультимедиа, включая видеотелефон и видеоконференции, высокоскоростной доступ в Интернет и Интранет, передачу деловой, развлекательной и образовательной информации и т.п. Соответственно эти системы должны включать наземный и спутниковый сегменты и поддерживать скорости передачи информации до 64 кбит/с без ограничений подвижности абонентов, до 384 кбит/с при ограниченной подвижности (скорость пешехода) и до 2 Мбит/с в неподвижном варианте, обладая достаточными для этого полосами каналов связи.

Принят курс на «семейство стандартов», при условии, что все стандарты «семейства» должны быть совместимы между собой, чтобы они могли совместно функционировать в глобальном масштабе. В этом одно из радикальных отличий от сегодняшней ситуации, когда существует ряд несовместимых между собой цифровых стандартов сотовой связи. Для обеспечения совместимости различных стандартов помимо выделения общих диапа-

зон частот и согласования требуемых скоростей передачи информации определены два главных компонента новой системы – основа архитектуры сети и радиointерфейс, для каждого из которых сформулирован набор требований.

Предполагается, что в мире будут производиться терминалы IMT-2000 различных стандартов. Операторы будут нуждаться в терминалах, совместимых с технологиями GSM/DCS, DECT. Поэтому терминалы IMT-2000 предполагаются многорежимными, чтобы они могли работать в сетях как старых, так и новых стандартов.

ЛЕКЦИЯ 25

Принципы построения аналоговых и временных систем коммутации. Принципы коммутации. Основные понятия и определения: коммутационный элемент, коммутационный прибор, коммутационный блок. Основные способы установления соединений и построения ступеней искания и коммутационных блоков. Пространственные коммутационные системы. Понятие об однозвенных и многозвенных ступенях искания. Эволюция построения управляющих устройств систем коммутации. Непосредственное и косвенное управление.

Для осуществления коммутации (соединения) линий (электрических цепей, каналов) и управления процессами установления соединений, например, на АТС применяют коммутационные приборы. **Коммутационным прибором** называется устройство, обеспечивающее замыкание, размыкание или переключение электрических цепей, подключенных к его входам и выходам, при поступлении в прибор управляющего сигнала. Замыкание, размыкание и переключение электрических цепей в коммутационном приборе осуществляется **коммутационным элементом** (КЭ), который в простейшем случае представляет собой контакт на замыкание.

К коммутационному прибору могут подключаться линии с различной проводностью (одно, двух, трех и т.д. проводностью), поэтому их коммутация осуществляется несколькими коммутационными элементами, объединенными в **коммутационную группу**, коммутационные элементы которых переключаются одновременно под влиянием поступившего управляющего сигнала.

В коммутационном приборе в зависимости от его конструкции может быть установлено различное число коммутационных групп. Совокупность коммутационных групп называется **коммутационным полем прибора**. Местоположение коммутационных групп в коммутационном поле прибора (или **коммутационном блоке**, построенном из нескольких приборов) называется **точкой коммутации**.

Для коммутации электрических цепей используют приборы, обеспечивающие два устойчивых состояния своих коммутационных элементов. Одному состоянию КЭ приписано состояние «0», другому «1». При этом электрическая цепь, проходящая через КЭ, в одном из его состояний разомкнута, а в другом замкнута, т.е. первое состояние КЭ является **закрытым**, а второе **открытым**. Коммутационные приборы различаются между собой структурными и электрическими параметрами. К структурным параметрам относятся: **число входов «n»**; **число выходов «m»**; **доступность «Д» входов по отношению к выходам**; **проводимость коммутируемых линий «l»**; **свойство памяти «П»**. Производными от этих параметров являются **общее число точек коммутации «Т»**; **число коммутационных групп и число КЭ**; **максимальное число одновременных соединений**. К электрическим параметрам коммутационных приборов относятся: **сопротивление КЭ в разомкнутом (закрытом) состоянии R_z** и **замкнутом (открытом) состоянии R_o** ; **отношение которых называется коммутационным коэффициентом $K = R_z/R_o$** ; **время переключения КЭ из одного состояния в другое**; **вносимое затухание в разговорный тракт**; **уровень шумов**; **напряжение питания**.

Используемые коммутационные приборы по структурным параметрам можно разделить на 4 группы:

1. коммутационный прибор типа **(1×1)** – один вход и один выход – **реле**;
2. коммутационный прибор типа **$(1 \times m)$** – один вход $n=1$ и m выходов – **искатель**;
3. коммутационный прибор типа **$n(1 \times m)$** – имеющий n входов и nm выходов – **многократный соединитель**;

4. коммутационный прибор типа **($n \times m$)** – имеющий n входов и m выходов, причем каждому из n входов доступен любой из m выходов, т.е. $D=m$. В приборе одновременно может быть установлено n соединений, если $n \leq m$ или m соединений, если $n > m$. Такой прибор называется **соединитель**.

Находят применение электромеханические и электронные коммутационные приборы.

Основными видами оборудования, определяющими структуру коммутационного узла (КУ), являются коммутационное поле (КП) и управляющее устройство (УУ). Рациональное построение КП и УУ позволяет при минимальных затратах оборудования обеспечить требуемое качество обслуживания вызовов. Способ построения КП узла в значительной степени влияет на структуру УУ, которое в свою очередь может оказать воздействие на выбор оптимального варианта построения КП.

Коммутационные схемы используемые в узлах связи различаются: **емкостью**, которая определяется **числом входящих N и исходящих M каналов, режимом искания, структурой построения** (числом ступеней или звеньев коммутации), **пропускной способностью и потерями сообщений**. КП могут строиться с использованием как одного признака разделения каналов, например, **пространственного**, так и одновременно нескольких признаков, в частности тех, которые применяются в системах передачи.

В АТС старых типов (ДШАТС и КАТС) большое распространение получили КП с пространственным разделением каналов, в последнее время на сетях связи широкое применение находят коммутационные станции в КП, которых используется временной способ разделения каналов.

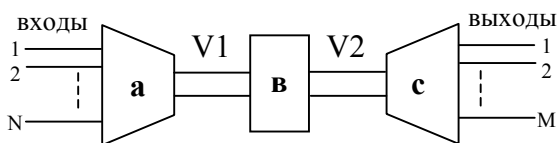


Рис. 1. Структурная схема коммутационного поля узла.

КП узла обычно собирается из отдельных частей. На рис. 1 показано КП, состоящее из 3-х частей а), в), с) в которых осуществляется соединение N входов с M выходами через внутрисканционные линии $V1$ и $V2$.

Во входы и выходы КП включаются соответственно входящие и исходящие линии. В первой части КП (а) осуществляется переход от большого числа входных (абонентских) линий N с малым использованием к меньшему числу межстанционных линий $V1$ с более высоким использованием, так как они являются линиями коллективного пользования для всех N входов и представляются последним по мере необходимости в установлении соединений. В последующей части КП (в) внутрисканционные линии $V1$ коммутируются с $V2$, и в последней части КП (с) осуществляется переход от $V2$ внутрисканционных линий к требуемому числу выходов M . Соотношение между числом линий следующее: $N > V1$; $V1 \cong V2$; $V2 < M$.

Отдельные части КП одновременно с коммутацией линий могут осуществлять еще и дополнительные функции, например, часть КП (а) выполняет функцию сжатия (концентрации), а часть (с) – функции расширения. Часть (в) в некоторых случаях, так же может выполнять функции сжатия или расширения в зависимости от расчетного числа линий $V1$ и $V2$, которые в нее должны быть включены.

На рис. 2 показаны коммутационный блок из N элементов в каждый из которых включено m линий, при этом общее число входных линий N , а выходных M .

Посредством КП узла должно осуществляться соединение между входом и его выходом на время передачи информации. КП строится на базе отдельных коммутационных блоков, которые в свою очередь объединяются в более крупные блоки, а последние в ступени искания. **Совокупность ступеней искания образует коммутационное поле узла.**

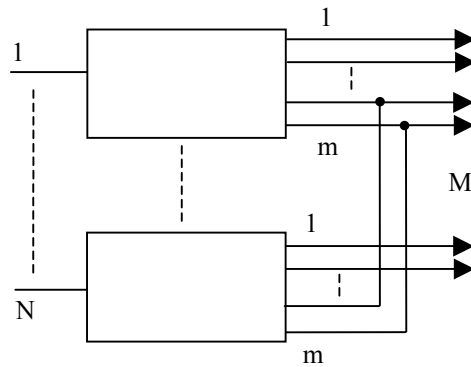


Рис. 2. Коммутационный блок

В соответствии с функциями, выполняемыми на ступени искания они получили название: ступени *линейного искажения*, *предварительного искажения*, *группового искажения*. Каждая ступень в зависимости от ее функций может отличаться структурой и режимом искания.

Простейшая АТС на 10 номеров может быть построена с помощью десяти шаговых искателей (ДШИ), а на 100 номеров с помощью 100 ДШИ. Однако такое построение станции не экономично. Если ввести в схему ступени предварительного искания, использующие более простые и недорогие искатели ШИ. То для станции на 100 номеров будет необходимо 100 ПИ (ШИ) и 10 ЛИ (ДШИ). Дальнейшее увеличение емкости ДШ АТС достигается за счет введения дополнительной ступени группового искания (ГИ) между ступенями ПИ и ЛИ. Сущность группообразования заключается в том, что общая емкость АТС делится на группы, емкость которых равна емкости контактных полей ЛИ. Ступень ГИ производит набор группы, в которой находится линия вызываемого абонента. Например, емкость АТС на 1000 номеров делится на десять групп по 100 линий в группе (рис. 3). Нумерация трехзначная. Первая цифра служит для выбора группы (сотни), в которой находится линия вызываемого абонента, две последние цифры – для выбора требуемой линии в выбранной сотенной группе.

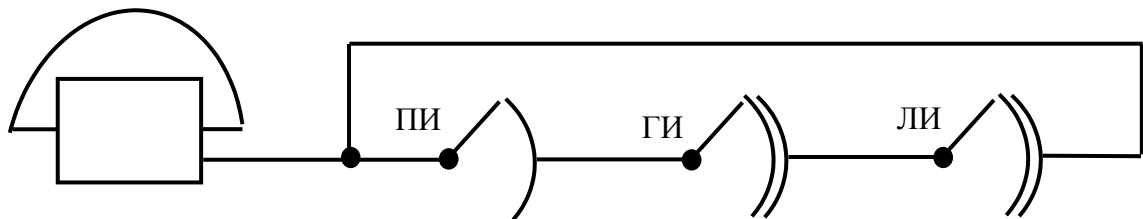


Рис. 3. Схематическое изображение ДШ АТС на 1000 N.

Дальнейшее увеличение емкости АТС достигается введением второй, третьей и четвертой ступеней группового искания, т.е. на 10000 номеров будут 1ГИ и 2ГИ, на 100000 номеров будут 1ГИ, 2ГИ, 3ГИ. Каждая ступень ГИ увеличивает емкость АТС в 10 раз, если используются ДШИ-100.

В координатных АТС вместо искателей используют многократный координатный соединитель (МКС), при чем для уменьшения общего количества коммутационных элементов используют операцию последовательного соединения коммутационных приборов и коммутационных блоков.

Для управления процессом установления соединением на коммутационных узлах устанавливаются *управляющие устройства (УУ)*. Различают непосредственное и косвенное (регистрационное) управление приборами коммутационного поля станции.

Непосредственное управление применяют только на АТС или других узлах с индивидуальными УУ для каждого коммутационного прибора. В таких системах импульсы набора номера поступают в УУ непосредственно от номеронабирателя телефонного аппарата. При этом процесс коммутации осуществляется одновременно с набором номера (ДШ АТС).

При косвенном (регистровом) управлении информация о номере вызываемого абонента воспринимается не УУ, а поступает в специальный прибор называемый **регистром**, в котором запоминается (фиксируется) номер вызываемого абонента (для приема адресной информации).

В координатных АТС применяются общие УУ, обслуживающие блоки на ступенях искания, они называются маркерами.

Поэтому в автоматических системах коммутации используются два способа установления соединений: **прямой и обходной**.

Прямой способ характеризуется тем, что установление соединения через коммутационную ступень (или блок) происходит одновременно с выбором требуемого выхода, так как коммутационный прибор на ступени искания, обеспечивая соединение входа с требуемым выходом, одновременно выполняет и функции выбора этого выхода. **Такой способ установления соединения используется в системах АТС с электромеханическими искателями имеющими индивидуальные УУ. Недостаток – непроизводительное занятие приборов,** - износ приборов, увеличение длительности их занятия и увеличение расхода электрической энергии.

Обходной способ характеризуется тем, что установление соединения через коммутационную ступень (или блок) **отделено по времени от процесса требуемого выхода.** Коммутационный прибор выполняет лишь функцию соединения между входными и выходными ступенями, а выбор требуемого выхода и соединительных путей между входом и выходом выполняет УУ без **участия коммутационного прибора. Достоинство** – устраняет непроизвольное занятие коммутационных приборов и широко применяется в координатных, квазиэлектронных и электронных станциях АТС, где применяются **общие УУ.**

ЛЕКЦИЯ 26

Пространственная и временная коммутация цифровых каналов. Принципы построения разделенных и неразделенных коммутационных полей. Особенности структуры коммутационных полей различных цифровых систем коммутации (ЦСК). Архитектура управляющих устройств ЦСК. Способы разделения функций управления. Эволюция и классификация систем сигнализации в системах коммутации. Сопряжение аналоговых и цифровых оконечных устройств с ЦСК. Особенности управления потоками в сетях связи.

Возможно использование двух принципов построения коммутационных блоков при коммутации цифровых каналов: пространственный и временной. При пространственном методе осуществляется соединения в одной и той же временной позиции каналов входящей *уплотненной линии (ВУЛ)* с каналами *исходящей уплотненной линией (ИУЛ)*. Точки коммутации могут быть реализованы, например, на логических элементах «И», «ИЛИ». Однако при таком построении коммутационных блоков коммутирование цифровых каналов ВУЛ с цифровыми каналами ИУЛ возможно, только если они имеют одну и ту же временную позицию, и в процессе коммутации нет возможности изменять временную позицию, что требуется в ряде случаев. Временной принцип построения коммутационных блоков позволяет это осуществить.

В буферном запоминающем устройстве (БЗУ) последовательно в соответствии с временными позициями записываются поступающие импульсы. В интервале времени, отводимым на один канал, необходимо провести одну запись и одно считывание. Временной интервал делится на две части и в первой половине производится запись информации из ВУЛ в БЗУ, а во второй считывание цифровой информации из БЗУ в ИУЛ. Однако такой принцип построения коммутационных блоков для коммутации каналов с ИКМ имеет ограниченное применение (возможно использование на станциях малой емкости при построении однозвенных коммутационных блоков). Поэтому применяются многозвенные коммутационные поля – ВП, ВВ, ВПВ, ВППВ, где В – время, П – пространство.

Новейшие достижения в развитии электронной и вычислительной техники позволили создать качественно новые системы автоматической коммутации. Характерной особенностью таких систем является высокая степень централизации функций управления на основе применения специализированных ЭВМ и использования в качестве элементов коммутационных систем различных быстродействующих приборов (герконовых реле, ферридов и др.). АТС с электронным централизованным управлением, в коммутационной системе которых применяются быстродействующие реле получили название квазиэлектронных (т.е. почти электронных) АТС – АТСКЭ. АТСКЭ могут различаться между собой по способу построения управляющих устройств (УУ).

УУ могут быть выполнены с непосредственными («жесткими») связями между функциональными блоками (ФБ) или программными.

Под программными УУ понимаются такие устройства, в которых непосредственные связи между ФБ отсутствуют, а взаимодействие между ними осуществляется через специальный блок называемый *программным устройством (ПУ)*. В случае построения УУ с непосредственными связями очередность работы ФБ в УУ определена постоянными («жесткими») связями между ними и закладывается при монтаже (*замонтированная программа*). Недостаток – необходимость перемонтажа схем УУ в случае изменения алгоритма функционирования АТС.

Другой способ построения функциональных связей между ФБ применяется в системах с централизованным программным управлением (ЦПУ).

При построении УУ с программным управлением имеется возможность не только упростить схему взаимодействия различных ФБ, но и обеспечить возможность без особых трудностей изменять программы обслуживания абонентов и вводить новые программы, т.е. можно добавлять ФБ, менять очередность их работы, вводить новые виды обслуживания абонентов, например, изменять категории абонентов, обслуживание вне очереди и т.п. В эксплуатационном процессе изменяется лишь порядок функционирования программных устройств, т.е. порядок включения тех или иных ФБ.

В АТСЭ электронные коммутационные системы могут строиться как с пространственным (ПРК), так и временным (ВРК) разделением каналов.

Принцип построения коммутационного поля в АТСЭ с ПРК такой же, как в АТСКЭ, а электронное УУ, реализуется, как правило, на основе замонтированной программы. В АТСЭ с временным разделением каналов коммутационные элементы (КЭ) работают в режимах разных временных интервалов, что позволяет одновременно устанавливать несколько соединений через одни и те же КЭ. Это приводит к повышению использования оборудования коммутационного поля, а следовательно, к улучшению экономических показателей при сохранении требуемого качества передачи информации. АТСЭ принято классифицировать по трем признакам: *по способу разделения каналов в коммутационном поле; способу управления установлением соединения; и способу передачи информации через коммутационное поле.*

Информация через коммутационное поле может передаваться аналоговыми или импульсными сигналами. В последнем случае для передачи речи требуются преобразователи, тип которых зависит от системы передачи используемой на сети, где устанавливается АТСЭ. В АТСЭ с импульсным способом передачи информации аналоговый (речевой) сигнал подвергается АЦП (и передается или как АИМ или как ИКМ). Через коммутационное поле передаются импульсы в виде дискретных значений амплитуд аналогового сигнала, а при ИКМ в его цифровом виде посредством кодового слова, несущего информацию о значении амплитуды аналогового сигнала. В обоих случаях на приемном конце осуществляется обратное преобразование сигналов в аналоговую форму.

Поскольку в цифровых АТСЭ информация передается в цифровом виде, аналоговые сигналы должны преобразовываться в цифровую форму на входе коммутационного поля и снова в аналоговую на выходе, если информация непосредственно передается абоненту. АТСЭ с цифровым коммутационным полем построенные по принципу ИКМ преобразования сигналов, является основой для организации интегральных цифровых сетей связи – ИЦСС.

Все АТСЭ имеют косвенное управление и требуют наличия регистрового оборудования, т.е. регистров или комплектов приема номеров.

В АТСЭ используются УУ с *замонтированной и записанной программой*. *Замонтированная программа* управления процессами обслуживания вызовов на станции осуществляется схемным путем в виде замонтированной логики внутри программного устройства. В УУ, работающих по *записанной программе*, программа работы станции записывается и хранится в памяти ЭУМ. По способам построения электронных УУ АТСЭ разделяются на: с централизованным и распределенным (децентрализованным) управлением. При централизованном управлении две ЭУМ работают параллельно и управляют работой всего коммутационного оборудования и всеми линейными и станционными комплектами.

При распределенном управлении функции управления разделены между несколькими небольшими ЭУМ типа мини ЭВМ, каждая из которых обслуживает только часть коммутационного оборудования или комплектов. При этом между ЭУМ организуются функциональные связи для обеспечения требуемой очередности их работы и обмена необходимой информацией.

Для установления соединения станции обмениваются между собой сигналами управления и взаимодействия (СУВ). СУВ условно подразделяют на линейные и регистровые.

Линейные сигналы предназначены для информирования удаленной станции о фазе соединения. Оборудование линейной сигнализации является индивидуальным и жестко закреплено за каждой СЛ.

Регистровые сигналы передаются в промежутках между линейными сигналами и информируют удаленную станцию о ее действиях на данной фазе соединения. Оборудование регистровой сигнализации, как правило, является групповым и его объем зависит от поступающей нагрузки; сигналы передаются декадным или многочастотным кодом. Разрушение установленного соединения на сетях связи России может происходить тремя способами.

В системе **одностороннего отбоя** отбой первым абонента **А** сопровождается разрушением соединительного тракта, передачей линейного сигнала **разъединение** и ответного линейного сигнала **освобождение** (он же **контроль исходного состояния**). Абоненту **Б** со своей АТС начинает поступать зуммерный сигнал «занято» до момента его отбоя.

В системе **двустороннего отбоя** отбой первым абонента **А** сопровождается передачей абоненту **Б** линейного сигнала **отбой А** и «занято» без разрушения соединительного тракта (для определения местонахождения злонамеренного вызова).

В системе **привилегированного отбоя** соединительный тракт разрушается только по инициативе стороны **А** линейным сигналом **разъединение**.

Известны два способа сигнализации при обмене управляющих устройств сигналами внутри одной либо разных станций сети: 1) **децентрализованный**; 2) **централизованный**.

Децентрализованный способ используется на электромеханических отечественных АТС и на сетях с такими станциями. Кроме того, его применяют для передачи служебной информации внутри цифровых АТС (ЦАТС) и при межстанционной связи ЦАТС с малым числом линий в пучках.

При централизованной сигнализации применяется групповой сигнальный канал, или общий канал сигнализации (ОКС).

ОКС – это цифровой канал связи между двумя управляющими устройствами станций или узлов сети электросвязи для обмена сигнальными сообщениями.

Первоначально ОКС предназначался только для обмена сообщениями сигнализации в телефонных сетях. В настоящее время в ОКС могут также передаваться данные пользователей в пакетной форме, информация телеметрии, данные для целей технической эксплуатации. Эти данные должны передаваться с более низким приоритетом, чем данные сигнализации. К ОКС должны иметь доступ все пользователи сети, которые требуют услуги коммутации каналов. С помощью программно-аппаратных средств ОКС реализуются следующие функции: выбор маршрута передачи сигнальной информации, защита от ошибок, предотвращение пропаданий, удвоений и столкновений кадров, управление трафиком сигнализации, управление каналом.

В ОКС передаются сигналы **управления, линейные и информационные** для пучка линий (каналов), предназначенных для пересылки речевой информации или данных. Речь идет о пучках линий или каналов цифровых систем передачи, которые коммутируются на станциях в режиме коммутации каналов.

Сеть сигнализации (СС) может быть построена по одному из двух способов: **связанному и несвязанному**.

Сущность первого способа состоит в том, что конфигурации сигнальной сети и сети каналов передачи речи и данных совпадают. При использовании несвязанного способа конфигурации СС и сети передачи речи и данных либо лишь частично совпадают, либо полностью не совпадают.

На ВСС России, как и в большинстве развитых стран, принят и реализуется курс на цифровизацию сети связи. Однако предстоит достаточно длительный период сосуществования на сети аналоговой и цифровой техники связи. Значительное число соединений будет устанавливаться с использованием обоих видов техники. Для того, чтобы в этих условиях обеспечить заданные характеристики каналов и трактов, принципы проектирования ЦСП и АСП должны быть совместимы. Это в первую очередь касается структуры номинальных эталонных целей, норм на суммарную мощность помех, возможности совместной работы на сети и т.п.

Сопряжение цифровой первичной сети с существующей аналоговой первичной сетью должно обеспечиваться за счет:

- образования аналоговых каналов передачи и групповых трактов в цифровой первичной сети;

- использования общей среды распространения для передачи сигналов АСП и ЦСП.

Важным является требование равенства или кратности длины усилительных участков $l_{\text{у}}$ и участков регенерации $l_{\text{р}}$, а также длин секций ДП и обслуживания, т.к. при этом существенно облегчаются реконструкция и обслуживание магистралей.

Организация в ЦСП каналов и трактов, широко используемых в АСП, возможна за счет аналого-цифрового преобразования групповых телефонных сигналов (ИКМ - ЧРК). Большое внимание уделяется применению трансмультиплекторов различного типа, которые, обеспечивая взаимные преобразования групповых аналоговых и цифровых сигналов, способствуют решению проблемы сопряжения цифровых и аналоговых каналов и трактов, например, с помощью трансмультиплектора два цифровых сигнала с тактовой частотой 2048 кбит/с можно преобразовать в сигнал вторичной группы частот, занимающей полосу 312...552 кГц, и ввести его в тракт СП с ЧРК. Трансмультиплексор может обеспечить преобразование сигнала, соответствующего стандартной вторичной группе частот, в два первичных цифровых потока с тактовой частотой 2048 кбит/с.

Проблема электромагнитной совместимости АСП и ЦСП может возникнуть при их работе по параллельным цепям одного симметричного кабеля (в коаксиальных кабелях таких влияний нет, т.к. $\text{СЦП} \geq 30$ Мбит/с). В этом случае между АСП и ЦСП возникают взаимные электромагнитные влияния, которые могут привести, с одной стороны, к увеличению мощности несовпадающих помех в каналах ТЧ АСП, а с другой стороны, к возрастанию вероятности ошибки в регенераторе ЦСП.

Отрицательное влияние цифровых сигналов на качество передачи информации по каналам АСП проявляется в увеличении уровня помех в каналах ТЧ из-за попадания в них спектральных составляющих цифрового сигнала. Влияние ЦСП на АСП происходит за счет перехода энергии на дальнем конце, причем основная доля мощности переходной помехи обусловлена влиянием последнего (прилегающего к усилительному пункту АСП) участка регенерации. Мощность переходных помех будет наибольшей в верхних по спектру каналах АСП. Для их уменьшения необходимо:

- использовать в линейном тракте коды, имеющие минимум спектральной плотности в области нижних частот, которая совпадает с линейным спектром АСП (применение биимпульсного сигнала);

- снизить амплитуду импульсов в линейном тракте ЦСП;

- симметризовать кабель, в диапазоне частот АСП на участках регенерации, прилегающих к усилительным пунктам;

- уменьшить длину $l_{\text{у}}$ и др.

Для организации управления сетями электросвязи Международный союз электросвязи (МСЭ) принял концепцию сетевого управления. В рекомендациях излагаются общие принципы планирования, функционирования и технического обслуживания сети управления электросвязью – TMN. Цель TMN – наилучшее использование существующих сетей связи и оптимальное проектирование перспективных сетей с точки зрения предоставления услуг абонентам, сложности и стоимости строительства и эксплуатации.

TMN – самостоятельная сеть, но имеет точки подключения к элементам сети электросвязи.

Согласно рекомендациям МСЭ, все современное оборудование сетей электросвязи (SDH, ATM, радиомобильной сотовой связи GSM) выпускается с устройствами для подключения TMN. Эти устройства представляют собой микроЭВМ и называются контроллерами. Необходимо отметить, что благодаря TMN возможно управление сетевыми элементами, которые расположены на расстоянии десятков, сотен и даже тысяч километров от центра управления.

ЛЕКЦИЯ 27

Заключение.

Современное состояние и перспективы развития связи РФ.

Телекоммуникационная отрасль России относится к одной из достаточно благополучных отраслей народного хозяйства. Ее бурное развитие в последнее десятилетие позволило сократить техническое отставание от ведущих стран мира. Построены современные цифровые линии связи, коммутационные станции оснащены цифровыми системами. Национальная сеть страны получила выход на глобальную сеть электросвязи. Достигнут рост числа международных каналов связи (с 1 тыс. в 1990г. до 70 тыс. в конце 2001г.) потребители получили возможность пользоваться автоматической телефонной связью более чем со 180 странами.

Число абонентов местных телефонных сетей превысило 30 млн. номеров, плотность на 100 жителей – более 21. Число абонентов сотовой радиосвязи, охватывающей около 80 регионов страны и сетей персонального радиовызова превысило 3,5 млн. Появились десятки видов современных услуг сотовой, пейджинговой и транкинговой связи, систем передачи данных, документальной электросвязи, мультимедиа и др.

Национальной стратегической задачей является участие России в кардинальной перестройке инфраструктуры связи на пути к глобальному информационному сообществу и расширение международного сотрудничества по основополагающим принципам его создания, интеграция национальной телекоммуникационной информационной инфраструктуры в региональную и Глобальную информационную инфраструктуру. Применительно к российским условиям в ее основе должны лежать следующие направления:

- всеобщая цифровизация процессов формирования, обработки, коммутации и передачи сигналов электросвязи, поэтапное строительство цифровых сетей преимущественно в структуре синхронной цифровой иерархии на базе волоконно-оптических, радиорелейных и спутниковых линий связи;

- переход к структуре цифровой сети с интеграцией служб (ISDN) и значительное расширение номенклатуры услуг, последующее внедрение широкополосной цифровой сети с интеграцией служб (B-ISDN) с формированием услуг мультимедиа;

- создание интеллектуальных сетей (IN) массового обслуживания с построением базы данных по модульному принципу;

- дальнейшее развитие сетей подвижной радиосвязи на базе сотовых структур и глобальных спутниковых систем с базированием национального сектора на федеральную сеть связи общего пользования;

- обеспечение взаимодействия национальных сетей связи и глобальной на основе использования признанных стандартов и технических рекомендаций международных органов регулирования;

- согласование сетей обработки информации и услуг с целью обеспечения доступа в удобной для пользователя форме ко все расширяющимся ресурсам по доступной цене и гарантированного качества;

- создание комплексных массовых интерактивных систем в наземном и спутниковом телевизионном и звуковом вещании для передачи сообщений от потребителей к информационным центрам;

- решение вопросов информационной безопасности, разработка методов и средств защиты информации, предоставление услуг конфиденциальной связи.

