

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Цифровые радиотехнические системы»

621.396.9(07)
К681

В. М. Коровин

**ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ
«СРЕДСТВА СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ»**

Курс лекций

Челябинск
Издательство ЮУрГУ
2008

УДК 621.391(075.8) + 621.396.91/.94(075.8)
К681

*Одобрено учебно-методической комиссией
приборостроительного факультета*

Рецензенты:
А.В. Самохвал, А.А. Федий

Коровин, В.М.

К681 Введение в специальность «Средства связи с подвижными объектами»: курс лекций / В. М. Коровин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 89 с.

Курс лекций предназначен для освоения курса «Введение в специальность» студентами, обучающимися по специальности «Средства связи с подвижными объектами».

УДК 621.391(075.8) + 621.396.91/.94(075.8)

© Издательство ЮУрГУ, 2008

ЛЕКЦИЯ 1

Введение

Урок 1. Особенности процесса обучения по специальности

Цели и задачи курса

Основными целями курса «Введение в специальность ...», как следует из его названия, являются ознакомление студентов со специальностью, особенностями построения процесса обучения по специальности, состоянием и перспективами развития средств подвижной радиосвязи.

Для реализации указанных целей ставятся задачи:

- ознакомить с рабочим учебным планом и календарным графиком обучения по специальности;
- рассказать об истории развития радиосвязи;
- изложить психолого-педагогические принципы успешного обучения в ВУЗе;
- ознакомить с идеями и принципами радиосвязи;
- познакомить с принципами действия современных систем, устройств и сетей подвижной связи;
- рассказать о перспективах развития средств связи с подвижными объектами.

Состав дисциплины: курс лекций – 18 часов в течение третьего семестра обучения.

Учебников или учебных пособий по данной дисциплине ещё не выпущено, т.к. специальность очень молодая. Необходимость в подготовке специалистов в области мобильной связи в нашей стране возникла и стала реализовываться только начиная с 90-х годов XX века, когда в связи со сменой общественного строя стали устраняться существовавшие серьёзные преграды на пути обмена информацией между гражданами, и во много раз возрос объём передаваемой информации не только в сетях профессиональной связи, но и в сетях общего пользования.

Первый набор на специальность «Средства связи с подвижными объектами» в ЮУрГУ произведён в 2003 году.

Структура и организация учебного процесса по специальности

Обучение по специальности «Средства связи с подвижными объектами» производится в соответствии с учебным планом, разработанным Учебно-методическим объединением Министерства образования и науки Российской Федерации по направлению «Телекоммуникации». В учебном плане содержится регламентированный перечень дисциплин, обязательных для изучения. Для них указаны объём каждой дисциплины, последовательность изучения дисциплин, виды

проводимых по каждой дисциплине занятий, форма и сроки проверки полученных знаний, время на самостоятельную работу студентов.

На основании этого плана кафедрой «Цифровые радиотехнические системы» (ЦРТС) Южно-Уральского государственного университета разработан рабочий учебный план. В нём содержатся все дисциплины, которые предписаны как обязательные в учебном плане УМО. Кроме того, в план включены дисциплины регионального компонента, учитывающие особенности региональных систем и сетей подвижной связи, а также потребности рынка в специалистах соответствующего профиля. Тем же целям служат включённые в рабочий учебный план курсы специализации. Кроме того, имеется ряд курсов, выбираемых студентами с учётом своих индивидуальных склонностей и интересов. Эти курсы называют элективными.

Все дисциплины учебного плана разделены на четыре цикла:

- 1) ГиСЭ – гуманитарные и социально-экономические дисциплины;
- 2) ЕН – естественно-научные и математические дисциплины;
- 3) ОПД – общепрофессиональные дисциплины;
- 4) СД – специальные дисциплины.

Каждая дисциплина цикла имеет краткий код, состоящий из сокращённого наименования цикла и текущего номера в цикле, проставляемых через точку. Кроме того, региональные дисциплины выделяются дополнительной буквой «Р». В шифр элективных дисциплин, т.е. дисциплин по выбору, добавляют через точку букву «В». Дисциплину специализации выделяют шифром «ДС».

Профиль специалиста в области телекоммуникаций определяют дисциплины циклов ОПД и СД.

В дальнейшем будет проводиться довольно подробный анализ циклов ОПД и СД рабочего учебного плана специальности в соответствии с основными типами средств подвижной связи, а также типовыми процессами, происходящими в них. Кроме того, необходимо выразить мнение выпускающей кафедры о дисциплинах циклов ГиСЭ и ЕН, не менее важных для формирования будущих инженеров.

Не имея возможности и времени для подробной оценки роли этих дисциплин, а так же достаточной квалификации в соответствующих предметных областях, я всё-таки выделю некоторые основные моменты, которые наша кафедра считает важнейшими, ключевыми для подготовки, и попробую дать рекомендации о том, на какие темы и разделы дисциплин ГиСЭ и ЕН необходимо обратить наибольшее внимание.

Из курсов гуманитарной подготовки чрезвычайно важны для подготовки специалистов в области телекоммуникаций иностранные языки, особенно *английский* и его американский диалект. Дело в том, что в силу ряда причин в настоящее время основными разработчиками и производителями средств подвижной связи являются фирмы зарубежных стран. Такое же положение и с компьютерной техникой и со средствами передачи данных по каналам связи. Поэтому для выхода на уровень наиболее развитых стран в области телекоммуникаций не достаточно знакомства с отечественной литературой. Необходимо читать оригинальные и самые последние зарубежные издания в подлиннике.

Практика обучения показывает, что при изучении специальных дисциплин важное значение имеет правильное понимание и применение научной и технической терминологии. Так вот в области телекоммуникаций, а, значит, и в области теории и техники средств подвижной связи, господствуют *англоязычные термины*.

Трудность изучения теории и техники подвижных систем связана во многом не только с обилием иностранных терминов, но и с большим числом *аббревиатур и акронимов*, которые очень трудно воспринять и запомнить без основательной подготовки по иностранным языкам. Так что знание хотя бы английского языка на уровне чтения и перевода со словарём абсолютно необходимо.

В цикле дисциплин естественнонаучной и математической подготовки необходимо указать важную роль и значение таких дисциплин, как *информатика и дискретная математика*. Они и есть база для успешного изучения современных систем связи, применяющих цифровую обработку сигналов. Такие системы занимают доминирующие позиции и наиболее перспективны в будущем.

Важным является также курс *теории вероятностей и математической статистики*. Он необходим для понимания работы систем радиосвязи в условиях помех и шумов, а также разработки средств, оптимальных по критерию наивысшей помехоустойчивости.

Из «классического» курса *высшей математики* необходимо выделить так называемые *специальные главы*, а именно, *теорию функций комплексного переменного и операционное исчисление*. Все уравнения радиоэлектроники составляют с применением комплексных чисел. Благодаря операционному исчислению удаётся достаточно просто анализировать поведение очень сложных радиоэлектронных систем и средств связи.

В курсе *физики* важен для понимания процессов в системах радиосвязи *раздел «Электричество»*.

Учитывая особое значение выделенных здесь дисциплин, большинство из них ведёт непосредственно выпускающая кафедра ЦРТС.

И ещё одну особенность учебного процесса по нашей специальности необходимо иметь в виду – это *настоятельная необходимость регулярной работы во внеаудиторное время*. Это вызвано тем, что по данной специальности ввиду её новизны ещё не разработан и не выпущен полный комплекс учебников, пособий и руководств.

Урок 2. Формы организации учебного процесса, их роль и значение в процессе подготовки

Как вам уже известно, учебный процесс в высшей школе складывается из различных форм. Это лекции, практические и лабораторные занятия, выполнение курсовых проектов и работ, различные виды самостоятельной внеаудиторной работы студента, производственные практики. Состав и удельный вес различных форм занятий в разных дисциплинах неодинаков. Он зависит от учебных целей дисциплины, её роли и важности в процессе обучения.

Чтобы определить роль и значение каждой формы обучения, а также дисциплин, в которых они применяются, необходимо обратиться к основам психологии образования.

Согласно системно-деятельностной теории, процесс усвоения знаний учащимися – это восхождение от одного уровня к следующему, более высокому [1]. Всего выделяют пять уровней усвоения.

Нулевой уровень – это исходный уровень усвоения, когда учащийся прочёл учебник, пособие, инструкцию и считает, что готов к выполнению какой-либо учебной работы (решать задачи, отвечать на вопросы, подключать измерительные приборы и т.п.).

Первый уровень – это уровень узнавания объектов, свойств, процессов при повторном предъявлении ранее воспринятой на нулевом уровне информации или выполнении действий с этими объектами и т.п.

Полученные на первом уровне знания называют *знаниями-знакомствами*. Этот уровень усвоения называют ещё *ученическим*, т.к. именно на него стремятся вывести учеников младших классов. На этом уровне учащиеся способны *различать* старое и новое, правильное и неправильное и т.п. Пример усвоения на этом уровне – сдача экзаменов по правилам дорожного движения.

Второй уровень – это уровень *воспроизведения* усвоенных действий и информации по памяти. Полученные на этом уровне знания называют *знаниями-копиями*. Ученик, который вышел на второй уровень знаний, способен выполнять *алгоритмическую деятельность* по памяти, т.е. решать *типовые* учебные задачи. Он способен выполнять заданную последовательность действий при полностью заданных исходных данных и условиях.

Для выхода на второй уровень отрабатывают типовые методики, алгоритмы решения задач. Например, многократно решают задачи по составлению и решению уравнений по законам Кирхгофа, когда задана схема электрической цепи. Другой пример: отработка алгоритма решения систем линейных алгебраических уравнений.

При выходе на второй уровень усвоения учащийся способен к *репродуктивной деятельности*, т.е. к правильному и эффективному применению знаний, которые уже известны другим людям и обществу в целом.

Более высокие уровни усвоения побуждают к *продуктивной деятельности*, т.е. к «производству» новых знаний.

Третий уровень усвоения – это уровень *эвристический*, когда учащийся способен сам формулировать и применять действия, правила, формулы, алгоритмы, новые и ранее не известные себе лично, но, возможно, известные другим, более квалифицированным специалистам. На этом уровне учащийся создаёт новые правила и действия на базе ранее усвоенных, добывает *субъективно новую информацию* (например, *делает выбор* из известных методик, процессов, алгоритмов).

Примеры: выполнение курсового проекта методом более эффективным, чем указан в задании, и перенесённым из методики решения других задач; рационализаторское предложение на производстве по изменению применяемых материалов, этапов технологического процесса, инструментов и т.п.

При эвристической деятельности учащийся сам создаёт или преобразует алгоритм действий. Соответствующие ей знания – это *знания-умения*.

Четвёртый уровень – это уровень *творчества*, когда учащийся способен решать задачи, для которых указана только цель, но неизвестны условия и пути решения. В результате решения такой задачи создаётся *объективно новое знание*, которые не было известно обществу.

При творческой деятельности человек действует «без правил», создавая новые правила. Результат этой деятельности – изобретение, открытие, создание новых классов и типов приборов, устройств, систем. Он заранее не предсказуем.

Все эти пять уровней – это последовательность фазы формирования мастерства, иерархия уровней усвоения опыта. Степень перехода, «подъёма» от одного уровня к следующему оценивают с помощью *коэффициента усвоения*

$$K_{\alpha} = \frac{a}{b},$$

где α – номер уровня усвоения;

b – общее число заданных ученику действий;

a – число безошибочно выполненных учеником действий из заданного множества b .

Коэффициент $K_{\alpha} \in [0, 1]$.

По коэффициенту усвоения судят о завершённости процесса обучения для каждого отдельного учащегося.

. Процесс усвоения знаний как переход от одного уровня усвоения к последующим можно отразить примерным графиком (рис. 1.1).

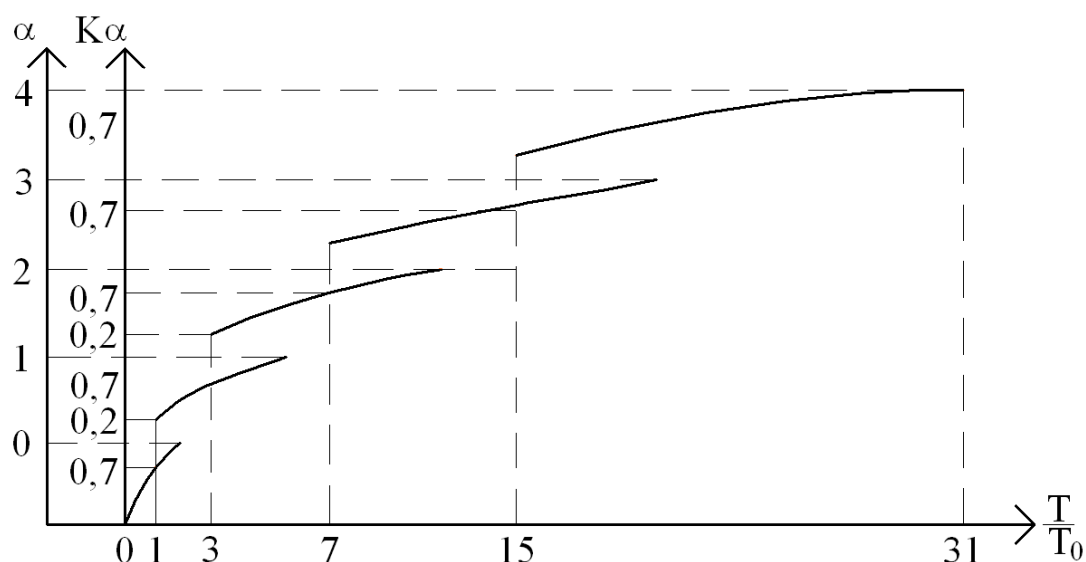


Рис. 1.1. Переход по уровням усвоения

Проведённые исследования показывают, что при $K_{\alpha} \geq 0,7$ процесс обучения можно считать завершённым, т.к. в последующей деятельности учащийся способен в ходе самообучения совершенствовать свои знания. Если $K_{\alpha} < 0,7$, то в даль-

нейшем очень трудно повышать свой уровень знаний и исправлять допускаемые ошибки.

Как видно из рис. 1.1, переход на новый уровень обучения тем сложнее, чем выше этот планируемый уровень. Если обозначить время выхода на уровень 0 при $K_a=0,7$ за T_0 , то время перехода на каждый последующий уровень подчиняется примерной эмпирической формуле $T_k = T_0 \cdot 2^k$ и, соответственно, общее время достижения n-го уровня.

$$T_n = \sum_{k=0}^n T_k = T_0 \sum_{k=0}^n 2^k = T_0 \cdot (2^{n+1} - 1).$$

Значит, для перехода с нулевого уровня на высший, четвёртый, нужно потратить как минимум в 31 раз больше времени, чем на чтение учебника «лёжа на диване». Понятно, что ни один ВУЗ не может ставить перед собой «неподъёмные» задачи готовить творцов из всех абитуриентов – слишком это долго и дорого. Поэтому переход на высшие уровни – это задача самообразования, работа над собой. (Параметр T_0 индивидуален, для разных личностей он меняется до 5 раз!).

Требования по выходу на необходимый максимальный уровень обучения по каждой обязательной дисциплине содержатся ещё в одном нормативном документе – государственном образовательном стандарте (ГОС). В разделе «Требования к уровню подготовки» ГОС эти требования излагаются следующими словами:

иметь представление	– это	уровень 0;
помнить	–	уровень 1;
знать	–	уровень 2;
уметь	–	уровень 3.

Для удовлетворения поставленным ГОС требованиям в состав учебных дисциплин вводят различные необходимые формы занятий. При этом имеется следующее соответствие:

научно-популярная литература, рефераты, беседы	–	выход на уровень 0;
лекции	–	уровень 1;
практические и лабораторные занятия, семестровые работы	–	уровень 2;
курсовые проекты и работы	–	уровень 3.

Посмотрев по учебному плану состав любой учебной дисциплины по формам обучения, каждый может представить, на какой уровень усвоения материала может вывести эта дисциплина, и, значит, насколько она важна для достижения конечных целей обучения и насколько соответствует требованиям ГОС.

Большинство предметов цикла ГСиЭ имеют целью вывести студентов на первый уровень усвоения. Такие дисциплины, как «Менеджмент в телекоммуникациях» или «Финансовый менеджмент» могут вывести на второй уровень. Предметы циклов ОПД и ЕН, как правило, сориентированы на второй уровень. Дисциплины цикла СД, для усвоения которых предусмотрено выполнение курсовых проектов и работ, ориентированы на третий уровень.

О важности самостоятельной работы

Большинство дисциплин учебного плана предназначены для обучения репродуктивной деятельности 1-го и 2-го уровней. Значит, для того, чтобы стать полноценным специалистом и творческой личностью, нужно также работать самостоятельно, во внеаудиторное время.

Итак, очень важна самостоятельная работа. Она должна быть систематической и, по возможности, непрерывной. Это нужно не только для того, чтобы «восходить» на новые уровни усвоения материалов, но и для того, чтобы не деградировать, попросту не забыть того, чему вас учили. Дело в том, что без повторения учебный материал забывается. Поэтому *прочность запоминания*, т.е. отношение объёма учебной информации, которую может воспроизвести учащийся, к исходному объёму пройденного материала неуклонно снижается. Эта закономерность описывается графиком – *кривой забывания* или *кривой Эпингхауза* (рис. 1.2).

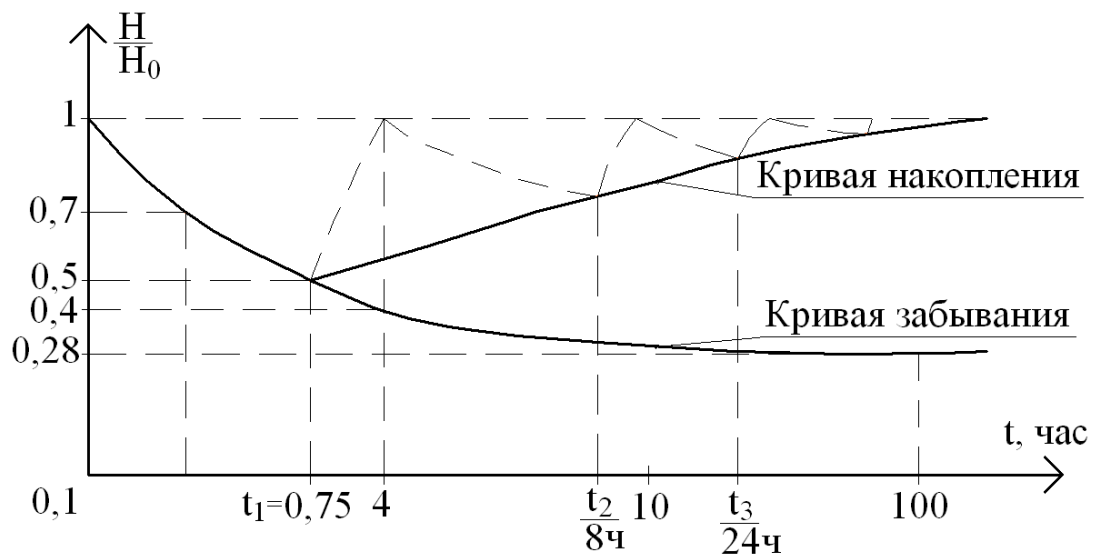


Рис. 1.2. Закономерности усвоения учебного материала

Как видно из кривой, если не повторить материал, то через 5 – 6 суток забывается до 75% изученного учебного материала. «Время полураспада» неповторённых знаний – 45 минут! Чтобы предотвратить забывание и, более того, наращивать объём усвоенной информации, необходимо «повторение пройденного». Рекомендуется повторять материал через интервал времени

$t_1 = 0,75$ часа, $t_2 = 8$ часов, $t_3 = 24$ часа и т.д. после окончания первого изучения материала.

Процесс изменения уровня запоминаемой информации при рекомендуемых повторениях учебного материала изображён штриховой кривой с изломами, помещённой на том же поле чертежа (см. рис. 1.2), что и кривая забывания. При этом, если провести через точки нижних изломов плавную линию, то она будет означать тот гарантированный уровень информации, что достигается при повто-

рении материала с течением времени. Эта зависимость называется *кривой накопления информации при обучении*.

Итак, для того, чтобы успешно накапливались знания, нужны регулярные повторения материала во внеаудиторное время. При этом никакие форсированные однократные усилия по ускоренной проработке содержания дисциплины, например, перед экзаменом, никак не гарантируют их «сохранность», «выживаемость» после экзамена. Это иллюстрирует семейство эмпирических кривых (рис. 1.3), полученных психологами.

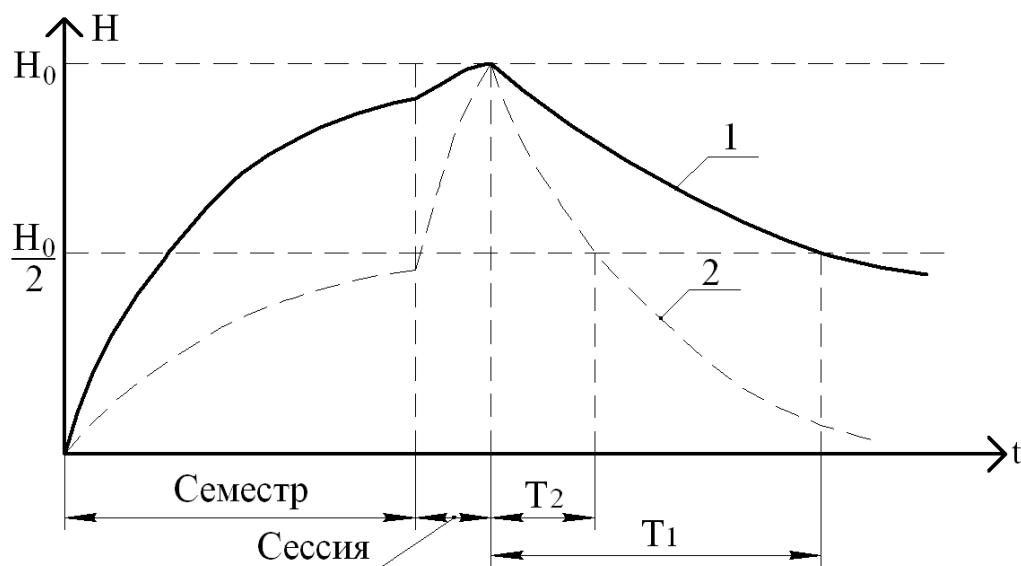


Рис. 1.3. Кривые выживаемости знаний

Здесь кривая 1 соответствует текущему уровню знаний регулярно занимавшегося студента, а кривая 2 – уровню знаний того студента, кто надеялся изучить учебный материал перед сессией. Как видно из графиков, даже при условии равной подготовленности этих студентов перед экзаменом по критерию объема усвоенной информации H_0 , «период полураспада» знаний T_2 студента, занимавшегося нерегулярно после сессии гораздо меньше соответствующего показателя T_1 регулярно занимавшегося студента. За время, равное длительности последующего семестра знания, полученные вторым студентом «выветриваются» почти полностью.

Итак, давайте заниматься регулярно и не пренебрегать самостоятельной внеаудиторной работой!

ЛЕКЦИЯ 2

Основы электросвязи

Урок 1. Сети и системы электрической связи

Терминология в области связи

Прежде всего, необходимо отметить, что средства связи с подвижными объектами (или средства мобильной связи) суть один из вариантов осуществления беспроводной электрической связи. Поэтому можно понять принцип действия и устройство средств мобильной связи, только если вы разобрались с устройствами, сетями и системами электросвязи.

Что такое электросвязь? Это один из способов осуществления связи между лицами, передающими сообщения, и лицами, их принимающими.

В Большом энциклопедическом словаре термин «связь» трактуется как *передача и приём информации с помощью различных технических средств*.

В зависимости от применяемых средств связь делят на почтовую, электрическую и оптическую. (Оптическая связь – это передача сигналов флажками, вспышками света и т.п.).

Кроме этого, термином «связь» выражают *отрасль хозяйства*, обеспечивающую передачу и приём почтовых, телефонных, телеграфных сообщений, сообщений по радио и других.

В учебниках по теории связи даётся следующее определение [2, 3]:

Связь (communication) – обмен информацией или пересылка информации с помощью средств, функционирующих в соответствии с согласованными правилами.

Соответственно, *электросвязь (telecommunication)* – это передача или приём знаков, сигналов, текстов, изображений, звуков по проводной, оптической или другим электромагнитным системам.

Можно дать и такое определение:

Электросвязь – это передача и приём сообщений с помощью электрических сигналов по проводной, оптической или радио- средам распространения.

Другое название электросвязи – *телекоммуникации*.

В перечисленных определениях содержатся повторяющиеся знаковые слова «информация», «сообщение», «сигнал», «электрический сигнал», которые необходимо разъяснить. Рассмотрим эти ключевые понятия.

Информация – это совокупность сведений о событиях, явлениях, процессах, понятиях и фактах, предметах и лицах независимо от формы их представления.

Сообщение есть *форма представления информации* для передачи её от источника информации к потребителю.

Применительно к области электросвязи (телекоммуникаций) *сообщение* – это *информация, передаваемая с помощью электромагнитных сигналов средствами электросвязи*.

Примеры сообщений: текст телеграммы, речь, музыка, телевизионное или фотографическое изображение, данные ЭВМ, команда в системах управления и др.

Сигнал – материальный носитель или физический процесс, отражающий (несущий) передаваемое сообщение.

Для нас особый интерес должны представлять *сигналы электросвязи*. Это электрические токи и электромагнитные поля (ЭМП), изменение параметров которых во времени отражает передаваемое сообщение. К электрическим сигналам относят:

- телефонные, телеграфные и факсимильные сигналы;
- сигналы передачи данных;
- сигналы звукового и телевизионного вещания;
- сигналы телеконтроля и телеуправления.

Комплекс технических средств, обеспечивающих электрическую связь, называют *телекоммуникационными системами*.

Кроме систем, выделяют ещё *телекоммуникационные сети*, представляющие совокупность пунктов, узлов и линий (каналов, трактов), их соединяющих.

Телекоммуникационные системы и телекоммуникационные сети, взаимодействуя друг с другом, образуют *систему электросвязи*.

Классификация систем электросвязи весьма разнообразна. Для начала разделим их по видам сред распространения сигнала (рис. 2.1).

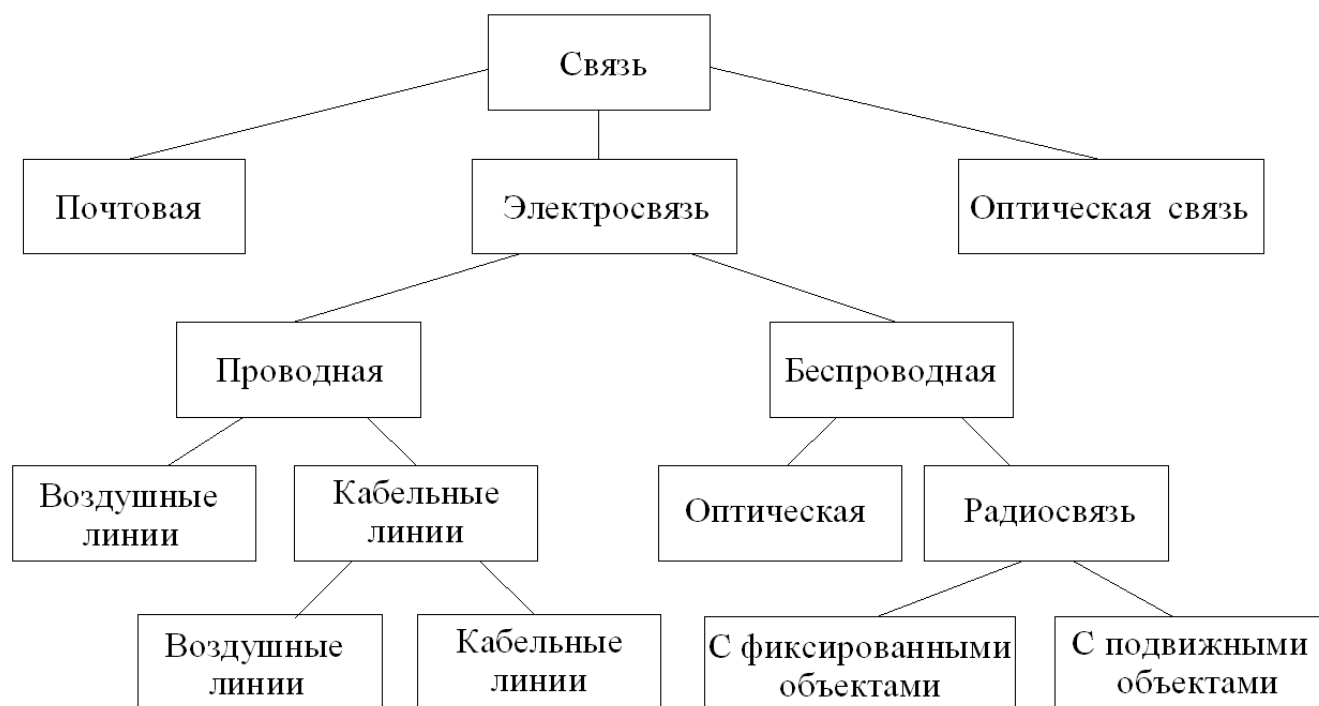


Рис. 2.1. Классификация систем связи

Из приведённой схемы видно место мобильной связи по сравнению с другими её видами.

Структура систем электросвязи

Взаимодействие телекоммуникационных систем и сетей можно отразить в первом приближении *обобщённой структурной схемой системы электросвязи* (рис. 2.2).

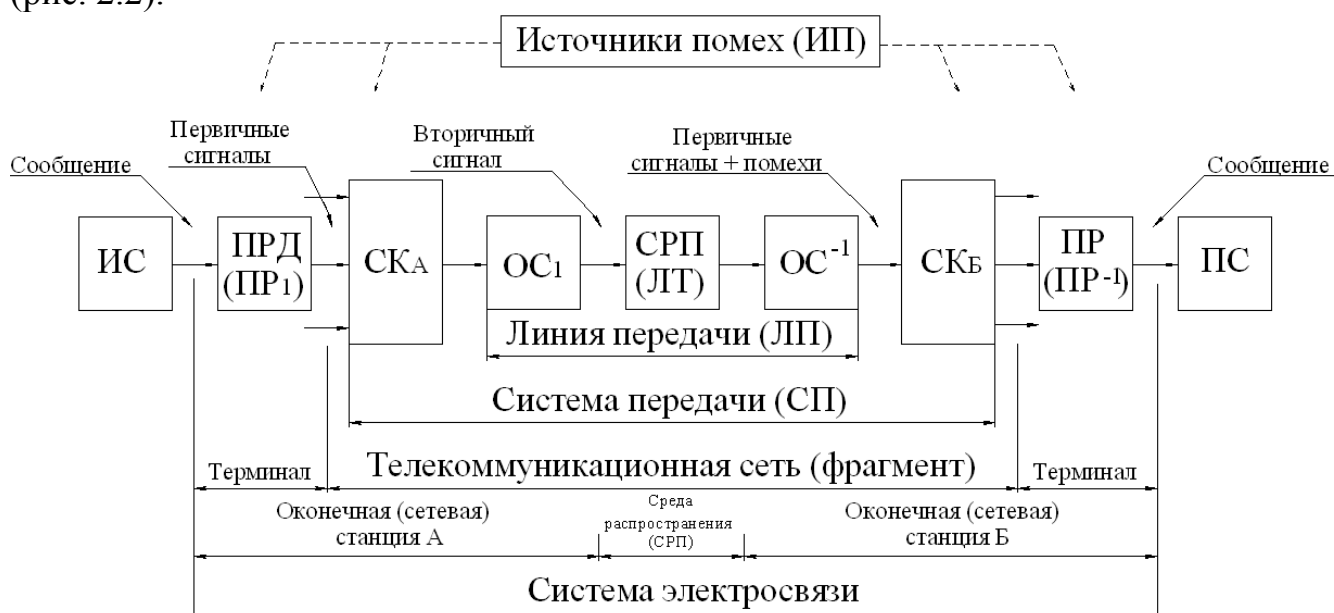


Рис. 2.2. Структурная схема системы электросвязи

На структурной схеме рис. 2.2 отражена связь источника сообщений ИС с получателем сообщений ПС посредством системы электросвязи.

Источником сообщений ИС и получателем сообщений ПС, как правило, являются люди. Но это могут быть также различные датчики, автоматические устройства, входы и выходы (терминалы) ЭВМ и т.п.

Передаваемые сообщения различной физической природы преобразуют в электрические сигналы *преобразователем сообщений ПР₁*, называемым ещё *передатчиком сообщений ПРД*. Соответственно, для восприятия передаваемой информации получателем сообщений, применяемый электрический сигнал преобразуется в принимаемое сообщение *преобразователем ПР⁻¹*, называемым ещё *приёмником сообщений ПР*. Передатчики и приёмники сообщений объединяют под названием *оконечные (абонентские) устройства* или *терминалы*.

Сигналы на выходе передатчика и на входе приёмника называют *первичными*.

Первичные сигналы не всегда удобно, а иногда и вовсе невозможно, передавать в заданной *среде распространения СРП* (в воздухе, кабеле, оптоволокне и т.п.). Поэтому первичные сигналы при передаче преобразуют во *вторичные* электрические сигналы, способные с хорошим качеством проходить через заданную среду. Соответственно, принимаемые вторичные сигналы преобразуют обратно в первичные, наиболее удобные для обработки в приёмнике. Соответствующие устройства, обозначенные как $ОС_1$ и $ОС^{-1}$, называют *оборудованием сопряжения со средой распространения СРП*.

Через заданную среду СРП, как правило, передают несколько сигналов от различных источников. Для того чтобы соединить заданный источник сообщений с необходимым получателем ПС, в систему электросвязи включают *станции коммутации* СК. На приведённой структурной схеме рис. 2.2 показаны две станции коммутации, находящиеся в составе *сетевых* или *оконечных станций*, образующих с линиями передачи *телекоммуникационную сеть*. (На обобщённой схеме системы электросвязи рис. 2.2 выделен только один фрагмент сети).

К первичным и (или) вторичным сигналам в процессе их распространения неизбежно примешиваются различные помехи естественного или искусственного происхождения. Это грозовые разряды, наводки от других систем электросвязи и радиоэлектронных систем, атмосферные шумы и т.п. На схеме рис. 2.2 выделены их источники ИП и пути проникновения помех в систему электросвязи. Из-за этого на входах приёмников сети электросвязи действуют сигналы, искажённые помехами. Поэтому одна из важных задач приёмника – это селекция сигналов из помех, чтобы обеспечить необходимое качество системы электросвязи.

На структурной схеме рис. 2.2 также отмечено, что систему электросвязи можно по различным признакам разделить на ряд основных подсистем. Совокупность среды распространения СРП и оборудования сопряжения со средой ($ОС_1$ и $ОС^{-1}$) называют *линией передачи* ЛП. Далее, *система передачи* СП составлена из среды распространения СРП, оборудования сопряжения $ОС_1$ и $ОС^{-1}$ и станций коммутации СК, т.е. это линия передачи со станциями СК.

Наконец, можно считать, что система электросвязи есть множество *оконечных* и *сетевых станций* вместе со средой распространения сигналов, т.е. это *сеть электросвязи*.

На структурной схеме рис. 2.2 показаны наиболее существенные (атрибутивные) части системы электросвязи, без которых она неработоспособна.

Кроме того, в состав системы передачи СП для компенсации *ослабления* распространяющихся сигналов (*затухания*), а также различных искажений и внутриканальных помех могут включать дополнительные *усилители* (УС), *регенераторы* и *ретрансляторы* (РТР). Они вместе со средой распространения образуют *линейный тракт* (ЛТ) *системы передачи* (см. рис. 2.3).

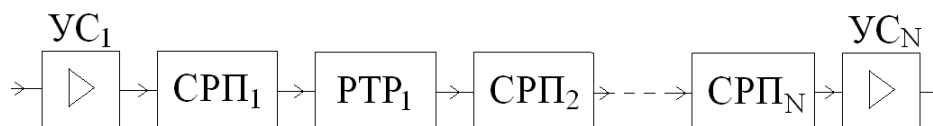


Рис. 2.3. Структурная схема линейного тракта

Заметим в заключение, что системы электросвязи необходимо делить и по *видам передаваемых сообщений*. Соответственно, выделяют *виды электросвязи*, от-

личающиеся применяемыми техническими средствами. Это телефонная, телеграфная, факсимильная связь, передача данных, звуковое и телевизионное вещание.

Телефонная связь – это средство передачи речевых сообщений.

Телеграфная связь и передача данных – это передача закодированных сообщений в виде текстов (телеграмм) и цифровых данных от ЭВМ.

Факсимильная связь обеспечивает передачу оптических сообщений в виде неподвижных изображений.

Отразим эту классификацию схематически на рис. 2.4.

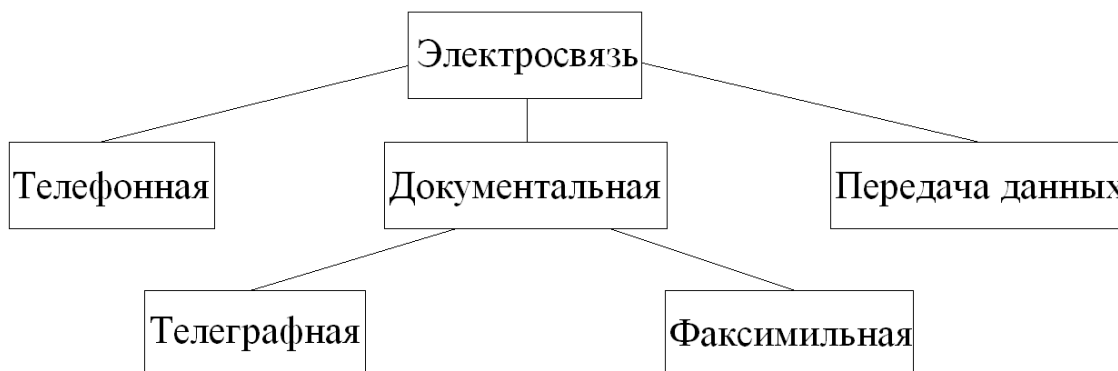


Рис 2.4. Виды электросвязи

Урок 2. Краткая история развития электросвязи

Обмен информацией – это настоятельная необходимость в жизни и деятельности каждого человека, коллектива и общества. Это обстоятельство требует от людей постоянного поиска новых способов и средств передачи различных сообщений.

Изложим краткую историю электросвязи в соответствии с источниками [3, 4].

Появление электросвязи было подготовлено величайшими открытиями XVIII и начала XIX веков, связанными с электрическими и магнитными явлениями. Использование электричества для передачи сообщений на расстояние явилось фактически одним из первых практических применений этих открытий. Применение электрического тока для передачи сообщений явилось значительным скачком в развитии связи, особенно из-за того, что он распространяется по проводам с неслыханной ранее скоростью.

Старейшим из всех видов электросвязи является телеграфная связь. Она реализуется наиболее просто. Термин «телеграф» есть объединение двух греческих слов $\tau\eta\lambda\epsilon$ (тэле) и $\gamma\rho\alpha\phi\omega$ (графо), что означает «пишу издалека».

Временем зарождения телеграфной связи и проводам принято считать 1832 г., когда российским учёным *бароном Шиллингом фон Каништадтом* был создан и испытан первый в мировой практике работоспособный образец электромагнитного телеграфного устройства.

Нужно сказать, что проекты и опыты по созданию электромагнитного телеграфа были и до Шиллинга. Так, первый известный проект создания телеграфа с магнитной стрелкой, взаимодействующей с электрическим током в проводнике, был предложен ещё в 1820 году «Ньютоном электричества», великим французским учёным *Андре Мари Ампером* (*A. M. Ampère*). По его идее делали опыты по телеграфированию итальянец *Ричи* (*Rici*) и немец *Земмеринг* (его телеграф был электрохимическим – сосуды с жидкостями).

Великий инженер, герой Отечественной войны 1812 г., востоковед и дипломат, член Петербургской академии наук Павел Петрович Шиллинг как сотрудник Третьего отделения Собственной Его Императорского Величества канцелярии с особой миссией был прикомандирован к русскому посольству в столице королевства Бавария Мюнхене. Там он и ознакомился с телеграфом Земмеринга и решил его усовершенствовать. Устройство Земмеринга связывалось с подобным ему большим числом проводов, по одному на каждый знак сообщения. Шиллинг поставил задачу значительно уменьшить число проводов и её решил. Проводов, в конце концов, осталось всего два.

Как это часто бывает, внедрению изобретения помог счастливый случай. Шиллинг продемонстрировал свой аппарат императору Николаю I. Тот пришёл в восторг от «электрикомагнетического телеграфа» и распорядился установить телеграфные аппараты в своём кабинете в Зимнем дворце, а также в кабинетах шефа жандармов графа А. Х. Бенкендорфа, министра путей сообщения графа П.А. Клейнмихеля и в будуаре фрейлины Варвары Нелидовой.

К сожалению, после смерти барона Шиллинга в 1837 г. дальнейшее развитие телеграфа в России прервалось. Эстафету подхватили английские изобретатели *Уильям Кук* (*W. Cooke*) и *Чарльз Уитстон* (*Ch. Wheatstone*). Они предложили в 1837 г. стрелочные показывающие телеграфы своих систем. Их и считают за рубежом основоположниками электрического телеграфа. Однако первым телеграфным аппаратом, получившим всеобщее признание и принятым в эксплуатацию во всём мире, стал *пишущий электромагнитный телеграф Морзе*, так как кроме удачной конструкции аппарата Морзе предложил ещё и удачный телеграфный код из «точек» и «тире», названный его именем.

Американский художник *Сэмюэл Финли Морс* (*Morse*) родился в г. Бостоне Северо-Американских Соединённых Штатов. Он учился на художника в Англии. Когда он возвращался после обучения живописи из Англии в Америку на пароходе «Салли» (*Sully*), то познакомился на его борту с английским физиком *Ч. Джексоном*. Он ознакомил Морса с последними достижениями в области электричества. После этого Морс «загорелся» идеей создать телеграфный аппарат, чему и посвятил всю свою жизнь.

Первый вариант своего аппарата Сэмюэл Морс продемонстрировал *4 сентября 1837 г.* в здании Нью-Йоркского университета, где он был профессором живописи. Прошло ещё три года, и в 1840 году он создал аппарат, который применялся на телеграфных линиях всего мира более ста лет.

Успеху Морса способствовало то, что он применил в своём аппарате самые последние достижения электротехники. Так, он использовал *телеграфный ключ*,

изобретённый российским учёным, академиком Б. С. Якоби. Главная часть аппарат Морса – электромагнит – был изобретён в 1825 г. английским физиком Вильямом Стердженем. Как источник питания применялась гальваническая батарея, созданная английским физиком Даниэлем в 1836 г. В своей работе Морс консультировался с великим американским физиком Джозефом Генри (Henry). Именно Генри предложил Морсу применять для резкого увеличения дальности связи только что изобретённое им электромагнитное реле.

Первая практическая линия с использованием телеграфа Морса была построена в 1844 г. между городами Вашингтоном и Балтимором. Она имела длину около 40 км, что являлось очень большим достижением.

Первая буквопечатающий телеграфный аппарат построил академик Б. С. Якоби в 1850 г. Однако, практическое применение получил аппарат американца Дэвида Эдвина Юза.

В России первые телеграфные линии прокладывал знаменитый германский предприниматель и изобретатель Эрнст Вернер фон Сименс. Первая российская линия была проложена в 1853 году под водой между Петербургом, Ораниенбаумом и Кронштадтом.

Первый подводный кабель между Европой и Америкой был проложен в 1866 году.

В настоящее время применяются *электронные быстросействующие автоматизированные телеграфные аппараты под названием «телекс»*. Кроме того, развитием телеграфных аппаратов является аппаратура передачи данных в сетях ЭВМ.

Следующей «по возрасту» является факсимильная связь. *Первый факсимильный аппарат, передающий неподвижные изображения, был изобретён в 1855 г. итальянским физиком, аббатом Дж. Казелли. Первая факсимильная связь между Петербургом и Москвой была организована в 1866 – 1868 годах (т.е. при Александре II Освободителе).*

Немного позднее появилась наиболее распространённая в настоящее время телефонная связь. Официальной датой её изобретения считается *7 марта 1876 г.* Именно в этот день два изобретателя независимо друг от друга подали заявки на патент на изобретение телефонного капсюля. Первым из них оказался американец, 29-летний профессор физиологии Бостонского университета *Александр Грэхем Белл* (1847 – 1922). Он опередил своего соперника Элайшу Грэй из Чикаго на два часа. Кстати, Грэй подал заявку в ту же контору, что и Белл.

Интересно, что Белл не собирался изобретать телефон. Он сделал это случайно во время проведения опытов по уплотнению каналов телеграфной связи. Легенда гласит, что Белл экспериментировал с многоканальным телеграфным передатчиком, в то время как его помощник Томас Ватсон наблюдал за приёмником в другой комнате. Случайно пролив себе на брюки кислоту, Белл позвал ассистента на помощь, забыв, что Ватсон далеко и не может его услышать. Но к его большому удивлению Ватсон явился очень скоро и сообщил, что слышал голос Белла из приёмника.

Телефон стал очень своевременным изобретением. Уже в 1878 г. в городе Нью-Хейвене, штат Коннектикут, США, была построена первая коммерческая телефонная станция.

Телефонные аппараты быстро совершенствовались. В 1879 году российский учёный *М. Махальский* сконструировал первый чувствительный *микрофон с угольным порошком*, который в модернизированном виде использовался и до настоящего времени. В 1885 году ещё один российский учёный *П. М. Голубицкий* разработал систему *централизованного питания (ЦБ) микрофонов телефонных аппаратов*. Эта система ныне принята во всём мире под названием системы ЦБ.

Потребители быстро оценили достоинство телефонной связи. Общаться по телефону стало просто, привычно и удобно. Не нужно кодировать сообщения и расшифровывать их при приёме.

Первые городские телефонные станции в России открылись в Нижнем Новгороде в 1881 г и в Санкт-Петербурге в 1882 г. Станции были рассчитаны на 128 абонентов. В 1895 г. ёмкость телефонной сети столицы достигла 2858 номеров. Число применяемых телефонных аппаратов быстро увеличивалось.

Телефоны стали применять не только в учреждениях, но и в быту. Так, например, в домашней резиденции последнего российского императора Николая II – Александровском дворце в Царском селе – было установлено 13 телефонных аппаратов. При этом один телефон был в рабочем кабинете царя, а остальные 12 – в покоях императрицы Александры Фёдоровны.

Первый автоматический коммутатор без «телефонных барышень» изобрели американцы М. Д. и Т. Э. Кеннели в 1879 г.

Первая междугородняя телефонная линия в России соединила Петербург и резиденцию Александра III – Гатчину. Затем были построены линии связи с Петергофом и Царским Селом.

Первая линия дальней телефонной связи Москва-Петербург была построена в 1898 году.

ЛЕКЦИЯ 3

Сигналы электросвязи

Урок 1. Первичные сигналы электросвязи

Как уже отмечалось, *первичные сигналы* – это электрические сигналы на выходе преобразователя сообщений, которые имеют различную физическую природу. Иными словами, *первичные сигналы* – это *электрический ток, параметры которого изменяются под воздействием передаваемого сообщения* [2-4].

Параметр первичного сигнала, изменение значения которого однозначно отображает передаваемое сообщение, называют *представляющим* или *информационным параметром*.

Мгновенное состояние электрического сигнала, т.е. изменяющегося во времени электрического тока, характеризуют двумя основными физическими величинами – *напряжением $u(t)$ и силой тока $i(t)$* .

Простейшим примером электрического сигнала является такой, напряжение или сила тока которого описываются функциями

$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_u) = U_m \sin(\omega t + \varphi'_u),$$
$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_i) = I_m \sin(\omega t + \varphi'_i),$$

в которых

U_m и I_m – амплитуда напряжения и силы тока;

ω – угловая частота;

$\varphi_u, \varphi'_u, \varphi_i, \varphi'_i$ – начальные фазы. Соответственно, $\varphi' = \varphi + \frac{\pi}{2}$.

Такой сигнал доставляет информацию о том, что имеется источник этого сигнала. Его называют *гармоническим* или, в частности, *синусоидальным сигналом*.

Для рассматриваемого примера информационными параметрами могут быть амплитуда сигнала, частота или начальная фаза.

Кроме угловой частоты ω , определяемой в радианах в секунду или имеющей единицу величины c^{-1} , при описании гармонических сигналов используют циклическую частоту

$$f = \frac{\omega}{2\pi},$$

определяемую в герцах (Гц).

Циклическая частота f просто связана с периодом T соотношением

$$T = \frac{1}{f}, c.$$

Конечно, сигналы электросвязи, применяемые на практике, сложнее гармонических. Они не являются периодическими, описываются более сложными функциями, имеют начало и конец.

Однако гармонические сигналы хороши тем, что их распространение легче всего исследовать. Кроме того, доказано, что «реальные» сигналы электросвязи состоят из гармонических колебаний различных частот, амплитуд и начальных фаз. *Множество значений одноимённых параметров всех гармонических колебаний, составляющих сигнал, называют спектром этого сигнала*.

Электрические сигналы делят на *аналоговые* (или *непрерывные*) и *дискретные*.

У аналоговых сигналов закон изменения информационного параметра – это непрерывная функция. Дискретный сигнал характеризуется конечным (или счётным) числом значений информационного параметра.

Представим, например, что информация о передаваемом сообщении представляется мгновенным уровнем (напряжением, силой тока или мощностью сигнала). Тогда графики непрерывного и дискретного сигналов – их *временные диаграммы* – будут выглядеть как на рис. 3.1.

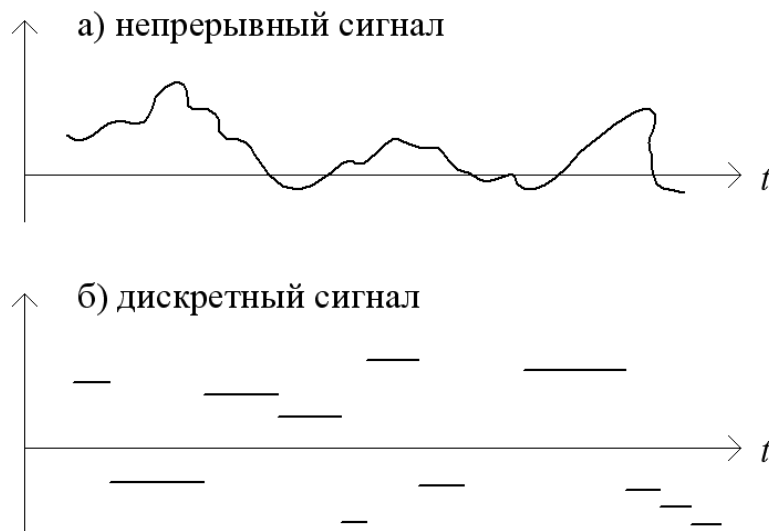


Рис. 3.1. Временные диаграммы сигналов

Для «настоящих», более сложных, чем гармонические, сигналов, переносящих больше информации, чем одиночный гармонический, в качестве *основных параметров* принимают их *длительность* и *мощность*.

Длительность сигнала – это интервал времени, в течение которого он существует.

Средняя мощность сигнала (или среднеквадратичное значение)

$$P = \frac{R}{T} \int_0^T i^2(t) dt = \frac{1}{RT} \int_0^T u^2(t) dt, \text{ Вт}$$

В этой формуле:

T – время усреднения;

R – сопротивление элемента системы связи, для которого определяется мощность (например, телефонный капсюль).

В частности, для периодических сигналов делают усреднение за период. Так, например, для гармонического сигнала средняя за период T мощность

$$P = \frac{1}{2} I_m^2 R = \frac{1}{2} \frac{U_m^2}{R}, \text{ Вт}$$

Для более сложных непериодических сигналов вводят усреднение за одну минуту, за один час или за более долгое время. Если $T \gg 1$ ч, говорят о *долговременной средней мощности сигнала*.

Кроме средней мощности, в случае необходимости, сигнал описывают с помощью мгновенной мощности

$$p(t) = u(t) \cdot i(t), \text{ Вт}$$

Мгновенная мощность $p(t)$ есть функция времени. В заданном промежутке времени она принимает ряд значений, из которых можно выделить наибольшую P_{\max} и наименьшую P_{\min} .

Отношение наибольшей и наименьшей мощностей в логарифмическом масштабе называют *динамическим диапазоном сигнала*.

Отношение наибольшей мощности сигнала к средней, определяемое в логарифмическом масштабе, называют *пик-фактором* сигнала.

Ввиду того, что параметры сигналов электросвязи и не только тех, что только что введены, изменяются в очень широких пределах (на много порядков), при их сравнении удобно применять логарифмирование. Это одна из важных особенностей теории и техники связи, на которой следует остановиться максимально подробно.

В радиотехнике и связи применяют так называемые *логарифмические единицы измерения* [2]. При этом, когда сравнивают мощности каких-либо сигналов P_x с некоторым опорным значением P_0 , то результат сравнения определяют по формуле

$$P_{OM} = k \cdot \log \frac{P_x}{P_0}.$$

Относительные единицы P_{OM} , определяемые по такой формуле, называют *уровнем сигнала* относительно опорного значения. В этой формуле k – коэффициент, выбираемый из соображений удобства представления уровней.

В радиотехнике традиционно принимают значение коэффициента k и основания системы логарифмов за «10», т.е. применяют запись

$$P_{OM} = 10 \cdot \lg \frac{P_x}{P_0}, \text{ дБ.}$$

При вычислениях по этой формуле уровни сигналов определяют в децибелах (дБ). Децибел – это 1/10 от более крупной логарифмической единицы, называемой *белом* (Б). Она введена в честь изобретателя телефона А. Г. Белла.

Из формулы видно, что уровень $P_{OM} = 10$ дБ соответствует отношению мощностей, равным 10.

В теории и технике связи уровни вычисляют также по такой формуле:

$$P_{OM} = \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{P_x}{P_0}, \text{ Нп.}$$

В ней $k = 1/2$ и приняты натуральные логарифмы. Единица такой логарифмической величины – *непер* (Нп). Она названа так в память заслуг шотландского математика Джона Непера, которому приписывают изобретение натуральных логарифмов.

Между уровнями сигнала в децибелах и неперах существуют соотношения:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Нп} &= 8,686 \approx 8,7 \text{ дБ} = 0,87 \text{ Б,} \\ 1 \text{ дБ} &= 0,115 \text{ Нп.} \end{aligned}$$

Как видно из этих соотношений, наиболее крупная единица – это бел, затем непер и децибел. Уровень $P_{OM} = 10$ дБ соответствует уровню 1,15 Нп.

Для двух последних введённых относительных параметров, если их определять в децибелах, имеем следующие расчётные формулы:

1) динамический диапазон сигнала

$$D_c = 10 \cdot \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}, \text{ дБ},$$

2) пик-фактор сигнала

$$Q_c = 10 \cdot \lg \frac{P_{\max}}{P}, \text{ дБ}.$$

Для данных параметров опорными являются наименьшая мощность P_{\min} или средняя мощность P соответственно.

Заметим теперь, что в зависимости от того, какие значения принять за опорные, уровни сигнала делят на *абсолютные* и *измерительные*.

Уровень сигнала называют *абсолютным*, если за опорное принято значение средней или так называемой полной мощности (о ней будет рассказано в теории цепей), равное 1 мВт. Это соответствует случаю, когда полное сопротивление элемента, для которого назначена опорная мощность, равно 600 Ом, а сила тока и напряжение этого элемента равны 0,775 В и 1,29 мА соответственно.

Действительно, только при таком выборе опорных значений

$$P_0 = 0,775 \text{ В} \times 1,29 \text{ мА} = (0,775 \text{ В})^2 / 600 \text{ Ом} = (1,29 \text{ мА})^2 \times 600 \text{ Ом} = 1 \text{ мВт},$$

$$0,775 \text{ В} / 1,29 \text{ мА} = 600 \text{ Ом}.$$

Абсолютный уровень сигнала выделяют, введя единицу дБм.

Понятие *измерительного* уровня вводят при сравнении уровней сигналов на различных участках канала (тракта) их передачи.

Для измерения уровней сигналов применяют приборы, называемые *указателями уровней*. Они представляют собой вольтметры, в которых кроме (или вместо) шкалы напряжений введена шкала *абсолютных* уровней в неперах и децибелах.

Во избежание ошибок на указателях уровней отмечают опорные значения напряжения или опорное значение сопротивления, которым соответствует опорная мощность в 1 мВт.

Ещё два важных параметра сигнала – *ширина спектра* и *объём сигнала*.

Ширина спектра – это разность частот гармонических сигналов, из которых он состоит, с максимальной и минимальной частотой, т.е.

$$\Delta F_c = F_{\max} - F_{\min}, \text{ Гц}.$$

Объём сигнала – это произведение его длительности T_c , динамического диапазона D_c и ширины спектра ΔF_c , т.е.

$$V_c = T_c \cdot D_c \cdot \Delta F_c, \text{ дБ или Нп},$$

(T_c – длина, ΔF_c – ширина, D_c – «высота»).

Наиболее просто значения перечисленных параметров можно представить при изучении особенности сигналов при телефонной связи, т.е. речевых сигналов.

Урок 2. Речевые сигналы

Особенности речевых сигналов

Речевые сигналы могут быть в акустической или электромагнитной форме. *Речевой сигнал в исходной, акустической форме или речевое сообщение есть звуковые колебания воздушной среды.* Из-за особенностей формирования речи в голосовом тракте человека речевой сигнал представляет собой нестационарные и непериодический случайный процесс с переменными параметрами [3, 4].

После обработки речевого сообщения в преобразователе, которым является микрофон, речевой сигнал становится *первичным телефонным сигналом*. Если искажения при преобразовании речевого сообщения в электрическую форму минимальны, то телефонный сигнал обладает теми же параметрами, что и исходный речевой. Поэтому параметры речевых сообщений и телефонных сигналов рассматриваем совместно.

Выделяют самые различные *параметры речевых сигналов*. Так, в сигнале содержится так называемый *основной тон* (pitch). Это частота следования квазипериодической последовательности звуковых импульсов в речи. Для низкого голоса (бас) она равна 50 - 80 Гц, для женских и детских голосов – до 200...250 Гц. Кроме того в речи имеются так называемые *форманты* – это несколько почти гармонических колебаний с наибольшими амплитудами. Звуки речи отличаются числом формант и их частотами. Так как форманты гораздо мощнее других колебаний, то именно они создают звучание того или иного звука.

В звуках русского языка имеется до четырёх формант. Но самыми важными являются три форманты, частоты которых лежат в области частот от 300 до 3400 Гц. Это позволяет считать, что эта область частот вполне достаточна для хорошей разборчивости и сохранения естественной передаваемой речи. Её называют *эффективно передаваемой полосой частот*.

При произнесении каждого нового слога (*фонемы*) указанные параметры – основной тон и частота формант – изменяются. При этом средний период следования фонем составляет около *20 миллисекунд* (т.е. частота смены фонем – 50 Гц). За это время можно принять, что параметры речи есть постоянные величины.

Как уже отмечалось, важным параметром сигналов является их *мощность*. Так вот средняя мощность речи во время разговора – примерно *88 мкВт*. Однако в речи 75% времени занимают паузы, поэтому средняя мощность с учётом пауз составляет *32 мкВт*.

Минимальная мощность сигнала, который ещё слышен на фоне шумов, составляет 0,22 мкВт. При этом максимальная мощность, вероятность превышения которой не превышает 10^{-5} , составляет 2220 мкВт. Значит, *динамическим диапазоном* речевого сигнала

$$D_c = 10 \times \lg (P_{\max} / P_{\min}) = 10 \times \lg (2220 / 0,22) = 40 \text{ дБ},$$

а *тик-фактор*

$$Q_c = 10 \times \lg (P_{\max} / P) = 10 \times \lg (2220 / 32) = 18,5 \text{ дБ}.$$

Цифровое представление сигналов электросвязи

Как известно, большое число сигналов, отображающих передаваемые сообщения, имеют аналоговый вид. Это сигналы для передачи речи, музыки, изображения и т.п. Аналоговые сигналы при распространении по каналам связи искажаются, т.е. меняют свою форму, и искажают, тем самым, передаваемое сообщение. Кроме того, при распространении сигналов на них накладываются внешние помехи и внутренние шумы аппаратуры связи, дополнительно искажающие сообщение.

Так как аналоговые сигналы электросвязи есть случайные процессы, т.е. процессы с заранее неизвестной формой, то возникающие искажения трудно предсказать и невозможно устранить до конца. Это существенный недостаток систем связи с аналоговыми сигналами. Лучше передавать сигнал с заранее известной формой, например, прямоугольные импульсы.

Наиболее радикальным средством существенного снижения искажений передаваемых сообщений является переход от аналоговых сигналов к цифровым сигналам.

Цифровые сигналы – это особый класс дискретных сигналов, передающих сообщение с помощью цифрового кода.

Для преобразования аналогового сигнала в цифровой его последовательно подвергают трём преобразованиям:

- дискретизации во времени;
- квантованию по уровню;
- кодированию в цифровой код.

Отразим эти преобразования графически и объясним суть этих преобразований.

Дискретизация – это представление аналогового сигнала эквивалентной ему по информационному содержанию последовательностью отсчётов этого сигнала в заданные дискретные моменты времени. Другими словами, это переход от аналогового сигнала к такому дискретному сигналу – последовательности импульсов, уровни которых совпадают со значениями исходного сигнала в моменты отсчёта.

Пусть имеется некоторый аналоговый сигнал (рис. 3.2), напряжение которого $u(t)$ изменяется в заданном промежутке времени в пределах $[0, 15В]$. Выделим с помощью дополнительных дискретизирующих импульсов мгновенные значения этого сигнала в заданные моменты отсчёта t_1, t_2, \dots, t_7 с шагом во времени – *интервалом дискретизации* T .

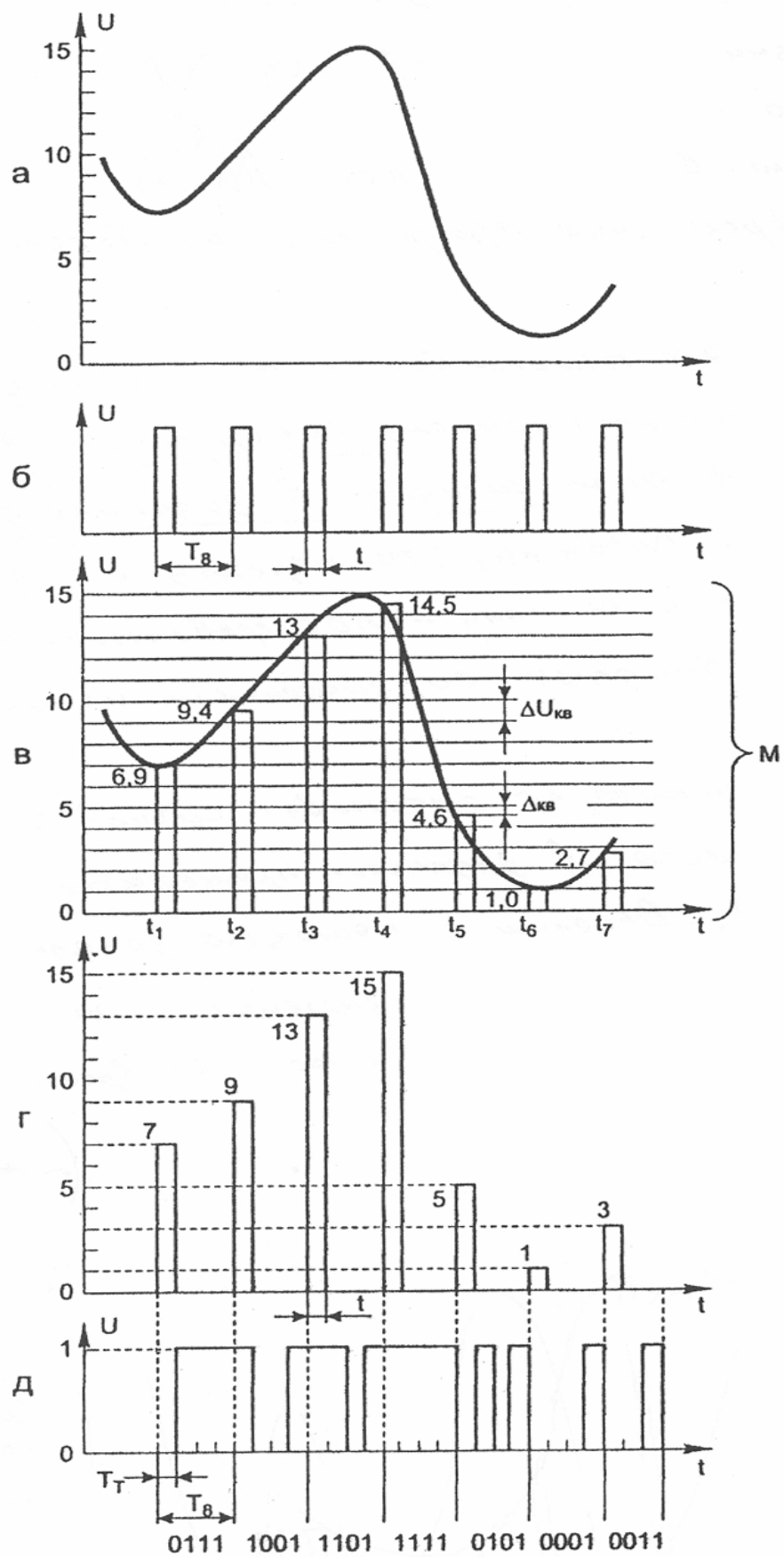


Рис. 3.2. Получение цифровых сигналов

Как видно из временной диаграммы рис. 3.1, вместо непрерывного аналогового сигнала при дискретизации формируется периодическая последовательность прямоугольных импульсов различной амплитуды. Уровни этих импульсов совпадают с мгновенными значениями исходного сигнала в моменты отсчётов. Переход от аналогового сигнала к последовательности импульсов, уровни которых зависят от значений этого сигнала, называют *амплитудно-импульсной модуляцией* (АИМ).

Производя дискретизацию сигнала необходимо помнить, что на приёмном конце канала связи нужно будет восстановить по отсчётам исходный аналоговый сигнал с достаточной точностью. Точность восстановления сигнала по его отсчётам гарантирует *теорема Котельникова-Найквиста*. Согласно этой теореме, можно достаточно точно восстановить сигнал, если частота дискретизации (частота отсчётов) f_d выбрана не меньше удвоенного значения наибольшей частоты восстанавливаемого аналогового сигнала, т.е.

$$f_d \geq 2F_{\max} .$$

Так как для телефонного сигнала принято значение $F_{\max} = 3400$ Гц, то для удовлетворительного восстановления этого сигнала нужно, чтобы частота отсчётов f_d была не ниже 6800 Гц. В телефонии приняли значение частоты $f_d = 8000$ Гц = 8 кГц.

Следующий шаг перехода к цифровому сигналу – квантование уровней полученного импульсного (дискретного) сигнала. *Квантование уровня сигнала – это переход от исходных уровней импульсов, являющихся значениями из континуального множества чисел, в конечное число M заданных уровней.*

Примем для рассматриваемого примера 16 уровней квантования от уровня 0 до уровня 15 В с постоянным *шагом квантования*, т.е. расстоянием между соседними уровнями, равным 1 В. Квантование состоит в замене исходных уровней импульсов на ближайшие "разрешённые" уровни, кратные одному вольту. Для нашего примера результат квантования - это переход к множеству целочисленных уровней отсчётов

$$\{7, 9, 13, 15, 5, 1, 3\}.$$

Как видно, квантование есть дискретизация по уровню сигнала.

Количество уровней ограничено и достаточно мало. Для нашего примера $M = 16$. Это позволяет достаточно просто перейти от исходной формы записи их значений десятичными числами к более удобной для передачи и обработки получившихся дискретных сигналов.

В настоящее время признана наиболее удобной для представления электрических сигналов двоичная система счисления. *Для перехода от квантованных дискретных сигналов к последовательности кодов двоичных чисел применяют последнюю операцию – кодирование.*

При кодировании, во-первых, десятичные числа заменяют на двоичные. Так, для нашего примера вместо исходных получим множество четырёхразрядных двоичных чисел

{0111,	1001,	1101,	1111,	0101,	0001,	0011}
7	9	13	15	5	1	3

Затем двум значениям "0" и "1" сопоставляют два заменяющих их электрических сигнала. Например, договариваются, что при передаче значения "1" по каналу связи распространяется ток заданного уровня, а для передачи значения "0" ток не пропускают. Значит, вместо комбинации цифр "1" и "0" формируются последовательности импульсов тока, кодирующих сообщение. Импульс тока, соответствующий цифре "1" называют *токовой посылкой*. Цифре "0" соответствует *безтоковая посылка*. (Это *положительная логика* представления двоичных чисел). Одноразрядный сигнал с двумя возможными уровнями – это *бит*.

Ясно, что чем больше число уровней квантования M , тем выше точность представления исходного сигнала и тем меньше его искажения при квантовании. В технике связи число уровней M принимают обычно равным $256 = 2^8$. В таком случае для передачи каждого квантованного уровня применяют восьмиразрядный двоичный код, а не четырёхразрядный, как в нашем примере. Цифровые восьмиразрядные сигналы называют *байтами*. Переход от аналогового сигнала к цифровому называют *импульсно-кодовой модуляцией* (ИКМ).

При приёме цифрового сигнала в обратном порядке совершают операции, обратные к тем, что мы применяли, т.е. от цифрового кода переходят к квантованным дискретным сигналам, а от них – к аналоговым.

В современных средствах связи с подвижными объектами применяют главным образом цифровые сигналы. Соответствующие сети и системы связи также называют цифровыми.

ЛЕКЦИЯ 4

Сети электросвязи

Урок 1. Основы построения и классификация сетей

Состав и структура сети

Обратимся вновь к обобщённой структурной схеме системы электросвязи рис. 2.2 и представим, что на ней приведены несколько связанных друг с другом через системы передачи СП каналами передачи (электросвязи) КП конечных приёмных и передающих устройств (терминалов).

Система электросвязи, обеспечивающая передачу и распределение сообщений между множеством всех её терминалов, называется сетью электросвязи.

Иными словами, сеть электросвязи есть система электросвязи сетевой структуры.

Сеть электросвязи представляет собой сложную совокупность линий передачи, сетевых узлов и сетевых станций, обеспечивающих доставку сообщений по заданному адресу с выполнением заданных требований по времени доставки и надёжности связи [2-5].

Основными компонентами сети электросвязи являются:

- *сетевые узлы (сетевые станции)*;
- *оконечные пункты (ОП)*, обеспечивающие ввод/вывод сообщений абонентов, или *терминалы*;
- *линии передачи*, соединяющие собой сетевые станции (узлы) и оконечные пункты.

Примером сетевых узлов могут служить телефонные станции. На оконечных пунктах находятся абонентские (оконечные) устройства. Это телефонные или телеграфные аппараты, факсы, радиостанции и т.п. Линии передачи могут быть воздушными линиями из проводов или кабелями, а также линиями связи по радио.

Классификация сетей

Сети электросвязи делят по разным признакам. По типу передаваемых сообщений выделяют телефонные и телеграфные сети, факсимильные сети и сети передачи данных. По категориям пользователей разделяют *сети общего пользования* (назначения) и *ведомственные* (корпоративные) сети.

Сети делят также на *коммутируемые* и *некоммутируемые (выделенные)*. *Сеть называют коммутируемой, когда путь передачи информации создается по запросу передающего абонента на время передачи сообщений*. В некоммутируемой сети обеспечено постоянное соединение между всеми абонентами. Некоммутируемые сети надёжнее коммутируемых и дают большую скорость передачи информации, но они дороже коммутируемых.

Все действующие в России средства связи объединены в *Единую автоматизированную сеть связи (ЕАСС)*. Она предназначена для передачи самых различных сообщений: телефонных и телеграфных, факсов, различных данных, программ звукового радиовещания и телевидения и т.п.

ЕАСС построена по двум уровням. Она включает в себя первичную и вторичную сети.

Первичная сеть есть совокупность всех каналов связи без подразделения по назначению и видам, охватывающая всю территорию страны.

Вторичная сеть состоит из каналов определённого назначения (телефонных, телеграфных, телевизионного вещания и т.п.).

Наиболее разветвлённой вторичной сетью является *Общegosударственная автоматическая коммутируемая телефонная сеть (ОАКТС)*. Она представляет собой совокупность автоматических телефонных станций, узлов коммутации каналов, линий телефонной связи и оконечных абонентских устройств.

Заметим, что телефонные сети часто используют для передачи других сообщений, например, факсимильных или данных. Поэтому для рассмотрения структуры и функционирования сетей различного вида и назначения ограничимся в дальнейшем рассмотрением телефонных сетей.

ОАКТС строится по принципам, зависящим от построения первичной сети. Вся территория страны делится на зоны. *Зона – это часть территории, на кото-*

рой все абоненты охватываются единой семизначной нумерацией. Территория зоны, как правило, совпадает с территорией субъекта Российской Федерации.

Зоновая телефонная сеть состоит из *местных* телефонных сетей. Местные телефонные сети разделяются на *городские* (ГТС) и *сельские* (СТС).

Сети телефонной связи

Начнём с рассмотрения организации телефонной связи в пределах зоны.

Итак, вся наша страна разделена на зоны с семизначной нумерацией. Таких зон в бывшем СССР насчитывалось 171. В нынешней России – 81 зона. На Украине – 27.

Центром зоны является *зоновая АМТС* (автоматическая междугородняя телефонная станция). Она обеспечивает связь между собой всех ГТС и СТС своей территории, а также их выход на общегосударственную и международную сети.

Для того, чтобы не загружать чрезмерно зонную АМТС внутрizonными соединениями, в зоне могут создавать *вспомогательные узлы коммутации* (УАК). Они обеспечивают связь между теми местными сетями, которые связываются друг с другом наиболее часто.

Примерная схема организации зонной сети показана на рис. 4.1.

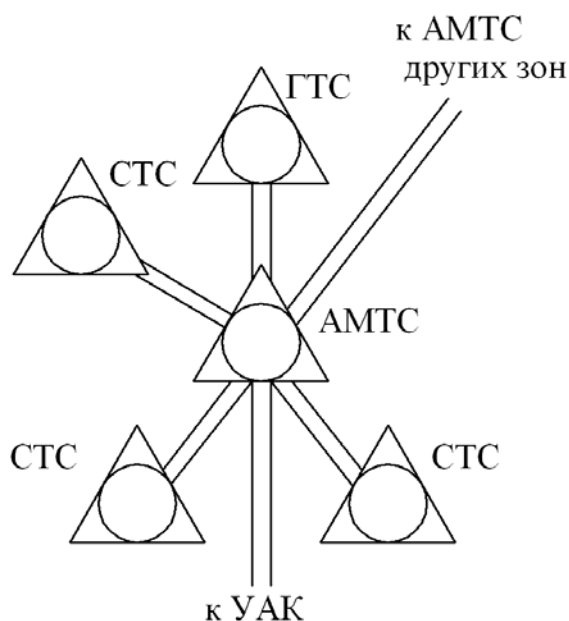


Рис. 4.1. Схема организации зонной сети

Сети, имеющие общий узел, называют *звёздообразными* или *радиальными*. Зоновая сеть есть пример радиальной сети с общей узловой станцией, которой является АМТС.

Все АМТС, расположенные в зонах, являются *оконечными станциями* междугородней сети, а узлы коммутации УАК есть *промежуточные (транзитные) станции* этой сети.

Следующий уровень организации ОАКТС – *городская телефонная сеть* (ГТС) или *сельская телефонная сеть* (СТС).

Городская телефонная сеть создаётся на территории города. Она строится таким образом, чтобы её абоненты могли вести переговоры не только между собой, но и с каждым абонентом любой местной телефонной сети страны, а также с абонентами учреждений телефонных станций и службами специального назначения (милицией, скорой помощью и др.) путём набора сокращённого номера.

По принципу построения ГТС делят на *нерайонированные* и *районированные*. Районированные телефонные сети подразделяют на ГТС без узлов, ГТС с узлами входящего сообщения (УВС), а также узлами исходящего (УИС) и входящего сообщения (УВС).

Структурная схема *нерайонированной ГТС небольшого города* приведена на рис. 4.2.

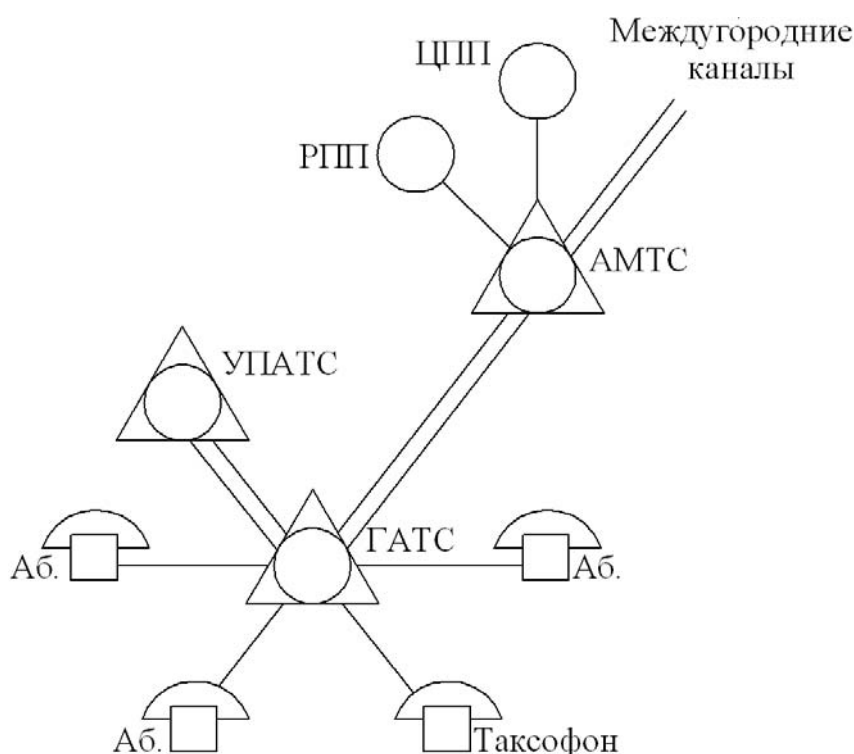


Рис. 4.2. Схема нерайонированной ГТС

Как видно из схемы рис. 4.2, к городской АТС подключены индивидуальные абонентские линии и таксофоны. Также ГАТС связана линиями с зоной АМТС и *учрежденческими производственными автоматическими телефонными сетями* (УПАТС). К АМТС подключены междугородные каналы и *переговорные пункты*: центральный (ЦПП) и районные (РПП). Кроме того, ГАТС играет роль связующего звена между УПАТС и АМТС, не имеющими непосредственной связи между собой.

Ёмкость нерайонированных телефонных сетей не превышает 10 тысяч номеров. Также телефонные сети строят в большинстве районных центров.

При ёмкости ГТС от 10 тысяч до 500 тысяч номеров территория города делится на районы, обслуживаемые районными АТС (РАТС). РАТС соединяются между собой линиями по принципу "каждая с каждой". *Нумерация абонентских линий на таких ГТС пятизначная, а первая цифра номера является кодом РАТС.*

При ёмкости от 10 тысяч до 50 тысяч номеров ГТС строится без узлов по схеме рис. 4.3.

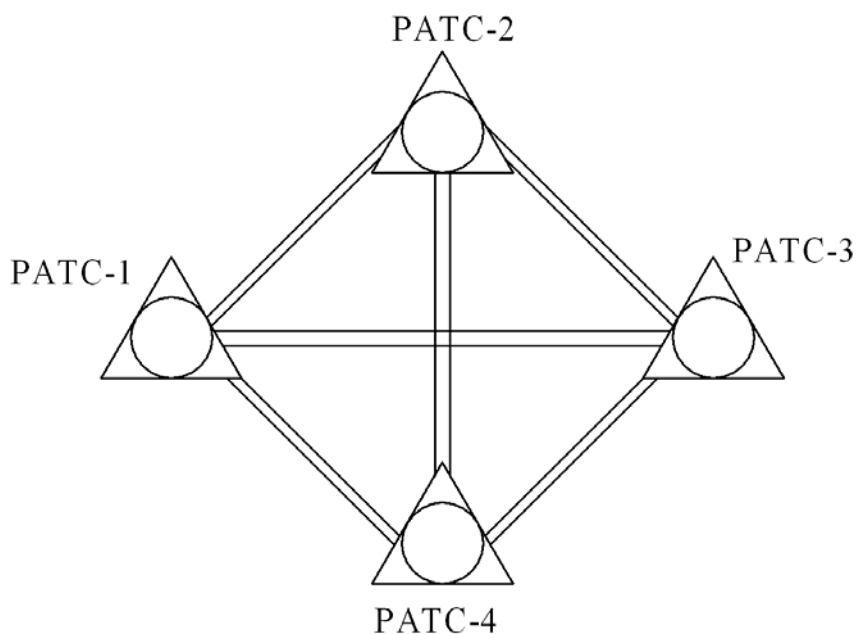


Рис. 4.3. Схема ГТС без узлов

При ёмкости ГТС от 50 тысяч до 500 тысяч номеров телефонную сеть строят как *районированную с УВС* (узлами входящего сообщения). При этом каждая РАТС соединяется с УВС других узловых районов сети исходящими линиями, а со своими УВС – входящими линиями. *На районированных ГТС с УВС применяют шестизначную нумерацию, при этом первая цифра является кодом узлового района, а вторая – кодом РАТС.*

Структурная схема ГТС с УВС приведена на рис. 4.4.

При ёмкости телефонной сети более 500 тысяч номеров помимо УВС в районированную сеть вводят *УИС* (узлы исходящего сообщения). Территория города при этом делится на *миллионные зоны*, каждая из которых может включать до десяти узловых районов до 100 тысяч номеров каждый.

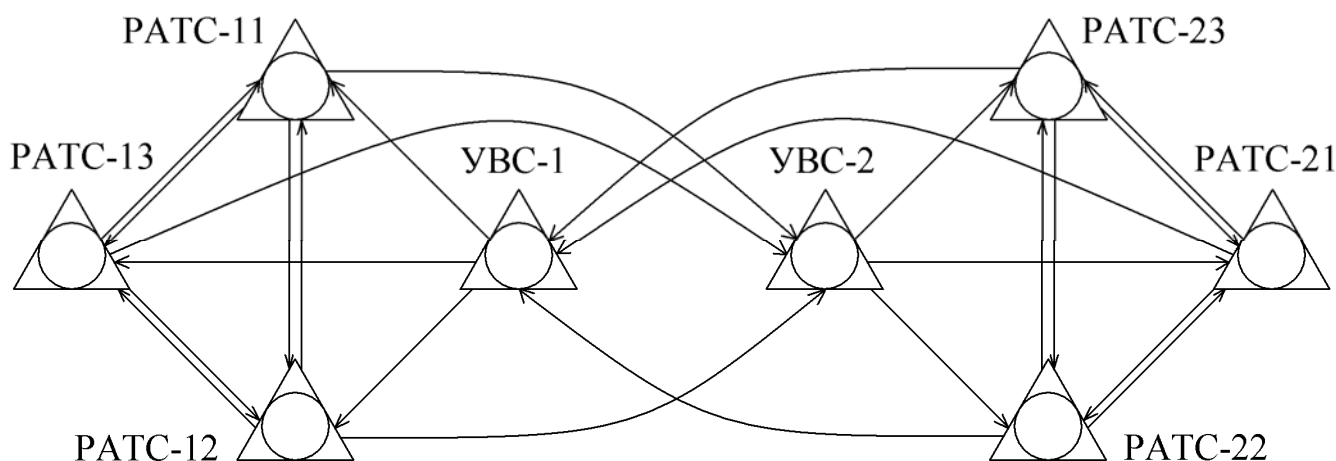


Рис. 4.4. Схема ГТС с УВС

Сельская телефонная сеть (СТС) охватывает более обширные территории, чем городские, но плотность телефонных аппаратов в них гораздо меньше, чем в городских. Эти сети строят как звёздчатые (радиальные). При этом центральным узлом является центральная станция (ЦС). С ним связаны оконечные телефонные станции (ОС). Оконечные станции располагают в небольших населённых пунктах. Их ёмкость от десятков номеров до двухсот номеров. Оконечная станция связана с телефонными аппаратами абонентов.

ОАКТС России является частью *всемирной телефонной сети*. В этой сети вся территория Земли разделена на 9 "телефонных континентов". Россия и некоторые страны СНГ включены в *седьмой континент*.

Нумерация в телефонных сетях

Телефонный номер – это адрес абонента в телефонной сети.

Система нумерации – определённая комбинация цифр, характеризующая телефонный адрес вызываемого абонента, и передаваемая на телефонную станцию вызывающим абонентом [4, 5].

Системы нумерации бывают *открытые* и *закрытые*. При закрытой системе номер абонента должен оставаться неизменным для всех видов связи.

Открытая система предусматривает для разных видов связи – междугородней, зоновой и местной – три разных номера для одного и того же абонента.

В ОАКТС России принята *открытая система нумерации*. Наиболее проста эта система в местных сетях.

1) Нумерация в местных сетях.

Начнём с нумерации в *местной сети с ёмкостью до 100 тысяч номеров*, где применяются районированные сети связи. При этом код номера – пятизначный вида

X-XX-XX.

Каждый знак этого номера, начиная со второго, может быть цифрой от 0 до 9. Первый знак не может быть ни нулём, ни восьмёркой, так как с нуля начинаются

номера спецслужб, а восьмёрка – это номер выхода на АМТС. Этот знак – код районной АТС.

Если *местная сеть имеет более, чем 100 тысяч номеров*, т.е. в случае, когда сеть содержит несколько узловых районов, то применяется семизначный номер вида

абХ-ХХ-ХХ.

Знаки "а" и "б" определяют номер стотысячного района крупной ГТС. Они также не могут принимать значение "0" или "8".

2) Нумерация в зонах сетей.

Основной номер в любой зональной сети семизначного вида

абХ-ХХ-ХХ.

При этом первые два знака указывают либо номер стотысячной группы в ГТС, либо номер СТС в зоне, где СТС – сельская телефонная сеть.

Если на ГТС принята семизначная нумерация, то местный и зональный номера совпадают.

3) Нумерация внутригосударственная (междугородняя).

Каждой зоне на междугородней сети присваивается трёхзначный номер, который обозначим как АВС. Тогда полный номер любого абонента при междузональной телефонной связи на территории государства принимает вид

8-АВС-абХ-ХХ-ХХ,

где 8 – код выхода на междугороднюю АМТС в том пункте, откуда ведётся набор;

АВС – номер зоны, где находится вызываемый абонент, причём *знак "А" не может быть единицей или двойкой, а теперь (с 2005 г.) и нулём*;

аб – номер стотысячной группы на ГТС или номер СТС в зоне, причём *значение "а" не может быть нулём или восьмёркой.*

Если на ГТС вызываемого абонента применяется пятизначная или шестизначная нумерация, то местный номер абонента должен дополняться до семизначного цифрами 22 или 2 соответственно.

Например, если мы собираемся звонить в г. Москву абоненту с семизначным номером, то учитываем, что код зоны "Москва" есть 495. Тогда при номере абонента 234-56-78 полный номер при междугородней связи с Челябинском должен выглядеть так:

8-495-234-56-78.

Если москвич звонит челябинцу с таким же местным номером, то он должен набрать номер

8-351-234-56-78,

где 351 – это номер зоны "Челябинская область".

При вызове номера в Смоленске набираем 8-481-2-12-34-56.

При *внутризональной междугородней связи* вместо трёх цифр АВС, т.е. номера зоны, набирают внутризональный код 2. Тогда набираемый номер должен выглядеть так:

8-2-абХ-ХХ-ХХ,

где вместо знаков "а" и "б" при необходимости нужно добавить двойки.

4) Международная (всемирная) нумерация.

Для выхода на международную телефонную сеть используется последовательность цифр "10", при этом схема набора становится следующей:

8-10-deABC-абX-XX-XX, т.е. 12 цифр,

где d – номер "телефонного континента" от 1 до 9 (Россия = "7"),

e – номер страны в списке "телефонного континента".

Так, при вызове абонента, находящегося на Украине из другой страны, не входящей в СНГ, набираем номер

8-10-38ABC-абX-XX-XX.

При вызове из России и стран СНГ набор делается как междугородный, т.е.

8-ABC-абX-XX-XX.

Урок 2. Линии передачи – основа сети

В настоящее время в качестве абонентских линий передач между АТС и отдельными абонентами применяют [4]:

- воздушные линии связи (ВЛС);
- электрические кабельные линии связи (ЭКЛС);
- радиолинии связи (РЛС);
- волоконно-оптические линии связи (ВОЛС).

Воздушные линии связи со столбами и проводами преобладали во всём мире до 50-х годов XX века. И сегодня сельская телефонная сеть России и даже США построена на воздушных линиях. Они наиболее простые, дешёвые и ремонтпригодные.

Воздушные линии позволяют организовать связь при значительных расстояниях между абонентами в диапазоне рабочих частот до 150 кГц. Однако эти линии подвержены атмосферным воздействиям и, поэтому, недостаточно надёжны. Их помехозащищённость и степень защиты от прослушивания невысоки. С помощью одной пары проводов по воздушной линии можно передавать одновременно *не более 18 – 20 аналоговых речевых сигналов* или *не более двух цифровых речевых сигналов*.

В настоящее время отдают предпочтение *кабельным линиям связи*. Слово "кабель" происходит от английского слова "cable", что означает "канат", т.е. верёвка, свитая из многих *жгутов* волокон, также свитых вместе.

Кабель, подобно канату, также состоит из многих *жгутов* проводов, свитых вместе. Но, в отличие от каната, каждый провод изолирован электрически от соседних проводов в жгуте и от остальных жгутов.

Самым простым вариантом телефонного кабеля является пара параллельных медных проводов в плоской полимерной изоляции, в просторечии "лапша" (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Плоский двухпроводный кабель

Такие линии передачи до сих пор есть основное средство соединения телефонных шкафов в подъездах или на улице с домашними и офисными телефонными аппаратами.

Преимущества и, главное, недостатки таких линий такие же, как и у воздушных линий. Наиболее нетерпимым в настоящее время являются низкие помехозащищённость и максимально доступная скорость передачи информации по таким линиям. Особенно это чувствуется при подключении к ним факсов и модемов. Поэтому в настоящее время стремятся проводить внутри зданий кабели типа "витая пара" или "звёздная скрутка" (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Витые кабели

Такие кабели относят к симметричным. Они состоят из двух и более одинаковых проводов равной длины, скрученных друг с другом.

Если шаг скрутки достаточно мал, то помехозащищённость этих кабелей значительно лучше, чем у "лапши". Рабочая скорость передачи информации в них может достигать 1 Мбит/с . По витой паре можно вести одновременно до 1000 разговоров.

В последнее время в связи с распространением кабельного телевидения и кабельных компьютерных сетей телефонную связь стали осуществлять и по высокочастотным коаксиальным экранированным кабелям (coaxial – соосный). Такие линии имеют более широкую полосу пропускания, чем ранее рассмотренные. Поэтому скорость передачи информации или число одновременно передаваемых телефонных сигналов в этих кабелях в десятки раз выше. Придумал коаксиальный кабель в 1912 г. профессор СПбЭТИ П.Д.Войнаровский, а применил как линию связи американский изобретатель С.А.Щелкунов в 1934 г.

Радиолинии связи начали успешно внедрять начиная со второй половины 50-х годов XX века, когда было развёрнуто строительство наземных радиорелейных линий прямой видимости.

Радиорелейная линия состоит из ретрансляторов, через которые проходит передаваемый сигнал. Ретрансляторы принимают сигналы, дополнительно усили-

вают и передают с помощью излучения радиоволн на следующий ретранслятор. Расстояние между ретрансляторами составляет от 30 до 50 км.

Качество связи с применением радиолинии существенно зависит от метеоусловий и электромагнитных помех. Достоинство радиолиний с наземными ретрансляторами – меньшая стоимость, чем кабельных линий.

Указанные недостатки устраняются с переходом на *космические* и *спутниковые линии связи*, когда ретрансляторы размещают на специальных спутниках связи.

Несмотря на высокую стоимость запуска спутников (до 100 млн долларов США) и малый срок их службы (5 – 7 лет), спутниковые радиолинии связи успешно конкурируют с наземными.

Особенно хороши радиолинии в местных сетях связи для решения проблемы "последней мили", т.е. необходимости подключения к телефонной сети большого числа значительно удалённых друг от друга абонентов. Радиолинии стали частью так называемых беспроводных телефонных линий или *средств беспроводного доступа*.

В последнее время при построении абонентских линий начинают применять *волоконно-оптические кабели связи*. Они содержат большое число стеклянных волокон – световодов, оптически изолированных друг от друга.

Пока волоконно-оптические кабели очень дороги, что ограничивает их применение. Однако, по ним можно передавать сигналы с гигантскими скоростями *до 1 Тбит/с* (Тера – 10^{12}). Значит, по одному оптическому волокну можно передать *более 40 тысяч телефонных разговоров одновременно*. Кроме того, можно эффективно передавать сигналы видеоизображений, оцифрованные данные и т.п.

Важными являются и другие преимущества волоконно-оптических кабелей. В них мало применяется дорогих и дефицитных металлов (медь, серебро, платина). Затухание оптических сигналов ($< 0,2$ дБ/км) гораздо меньше, чем электрических сигналов в медных проводах. Наконец, волоконно-оптические кабели, не излучающие радиоволн, позволяют строить линии передачи с высокой скрытностью передачи информации.

ЛЕКЦИЯ 5

Многоканальные системы передачи

Урок 1. Системы передачи и каналы передачи

Ключевым понятием телекоммуникационных систем и сетей является канал передачи (или канал электросвязи) [2, 3].

Обратимся ещё раз к обобщённой структурной схеме системы электросвязи (см. рис. 2.2). На ней выделена как *система передачи* совокупность *линии передачи* (ЛП) или линии связи, т.е. среды распространения СРП устройств для преобра-

зования первичных электрических сигналов в линейные, согласованные с линией передачи, (ОС) и устройств, осуществляющих обратное преобразование (ОС⁻¹), а также станции коммутации (СК).

Система передачи показана на рис. 5.1.

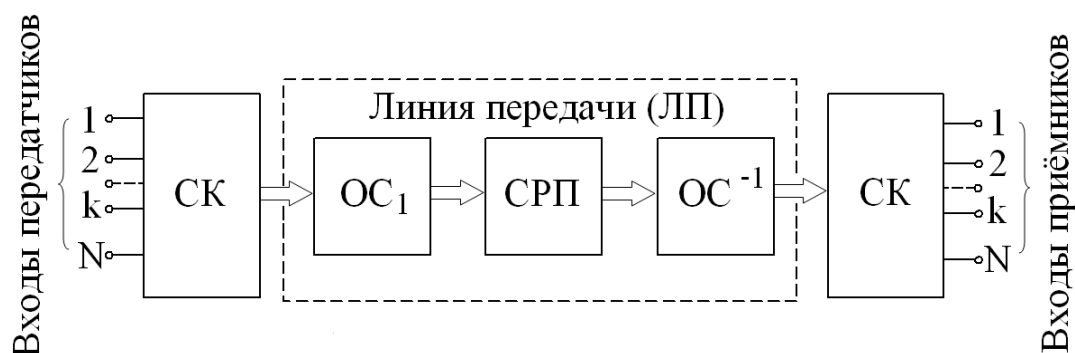


Рис. 5.1. Структура системы передачи

Как видно из рис. 5.1, можно считать, что система передачи состоит из линии передачи и двух станций коммутации. При этом наиболее существенным в системе передачи является наличие коммутаторов. Если через систему передачи проходит только один сигнал, нет необходимости в станциях коммутации. В этом частном случае система передачи вырождается в линию передачи.

По системам передачи распространяются независимо друг от друга множество сигналов, от десятков до тысяч и более (это показано на схеме «толстыми» стрелками). В таком случае, когда для передачи всех этих сигналов используется одна линия передачи и одна среда распространения, нужны станции коммутации. С их помощью обеспечивается определённый порядок передачи множества сигналов и разделение их на приёмном конце системы. Благодаря станциям коммутации каждый из передаваемых сигналов распространяется по своему каналу передачи.

Каналом передачи называют совокупность технических средств и среды распространения, обеспечивающую независимую передачу каждого из множества совместно передаваемых сигналов между оконечными и промежуточными пунктами телекоммуникационных сетей.

На приведённой структурной схеме показана N-канальная система передачи сигналов от N источников к N приёмникам с номерами $k \in [1, N]$. В случае, когда $N = 1$, когда станции коммутации не нужны, и система передачи совпадает с линией передачи, получившиеся *одноканальная* линия передачи и канал передачи – это одно и то же.

Обратимся к более общему и более важному для практики случаю, когда $N > 1$, т.е. случаю, когда имеем *многоканальную* систему передачи.

Понятно, что при увеличении числа источников сигнала по ряду причин, в том числе и экономического характера, всегда стремятся передать как можно больше сигналов от разных источников по одной линии передачи. *Передача сигналов от различных источников по одной линии называется разделением каналов.*

Операция разделения каналов основана на присвоении каждому передаваемому сигналу индивидуального признака, разных значений некоторого существенного для передачи параметра (или параметров).

Известны различные способы разделения каналов. Один из них состоит в том, что спектры передаваемых сигналов с помощью операции транспонирования спектра (преобразования частоты) перемещают по оси частот таким образом, чтобы они не пересекались. Например, пусть есть конечное множество телефонных сигналов, каждый из которых занимает полосу частот от 300 Гц до 3400 Гц. Тогда станция коммутации на передающей стороне системы передачи формирует сигналы, состоящие из гармонических колебаний, находящихся в диапазонах

[300 Гц ... 3400 Гц], [4300 Гц ... 7400 Гц], [8300 Гц ... 11400 Гц], ... и т.д.

Изобразим спектры этих сигналов на рис. 5.2.

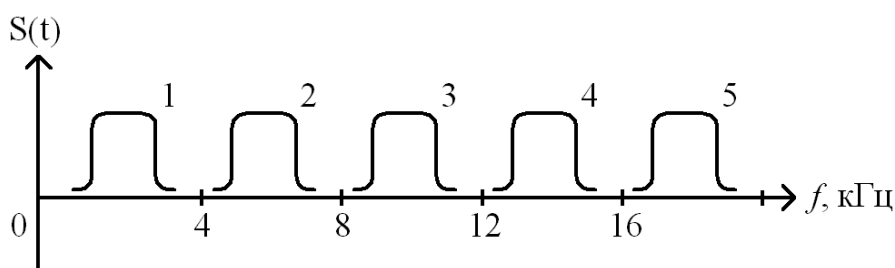


Рис. 5.2. Частотное разделение каналов

Как доказано в теории связи, сигналы с непересекающимися спектрами не оказывают влияние друг на друга и распространяются независимо. На приёмном конце станция коммутации разделяет сигналы с разными спектрами на разные выходы и переносит на этих выходах спектры сигналов «обратно» в область частот 300 Гц ... 3400 Гц.

Рассмотренный выше способ называют *частотным разделением каналов* (ЧРК). Образующиеся при ЧРК каналы называют *частотными*.

Пионерами в деле частотного разделения каналов являются российские специалисты. Так, ещё в 1880 г. военный связист инженер-капитан Г. Г. Игнатьев применял частотное разделение для одновременной передачи по одной телефонной линии одного телефонного и одного телеграфного сигналов. Другой российский инженер Е. И. Гвоздев организовал в 1893 г. передачу по одной линии одного телефонного и двух телеграфных сигналов. В настоящее время применяют системы передачи с воздушными линиями связи на 120, 300 и 600 каналов. С применением коаксиального кабеля можно создать системы с 10 000 каналов. Если использовать волоконно-оптические линии, можно передавать одновременно 1 млн. сигналов.

Систему передачи с ЧРК широко применяют в настоящее время. По ним передают аналоговые сигналы. Поэтому, *системы с ЧРК также называют аналоговыми*. Они просты в эксплуатации, достаточно надёжны, обеспечивают хорошее качество передачи сигналов и необходимую дальность связи.

Однако, у них есть крупный недостаток – *низкая помехозащищённость*, которая тем хуже, чем больше длина линии передачи. От этого недостатка свободен способ *временного разделения каналов* (ВРК).

В основу метода ВРК положен *принцип поочерёдной поэлементной передачи нескольких сигналов по одной линии связи*. Сначала по линии передаются первые элементы первого сигнала, затем второго и так до последнего n -го сигнала. Далее передаются вторые элементы снова от первого до n -го сигнала. Подобная операция повторяется цикл за циклом до тех пор, пока не будут переданы последние элементы (значения) всех n сигналов. В итоге получается, что каждый сигнал передаётся в строго определённые интервалы времени. Тогда в системе передачи образуется n *временных каналов*, называемых ещё *физическими каналами*.

Результат временного разделения каналов можно отразить графически на временной диаграмме рис. 5.3.

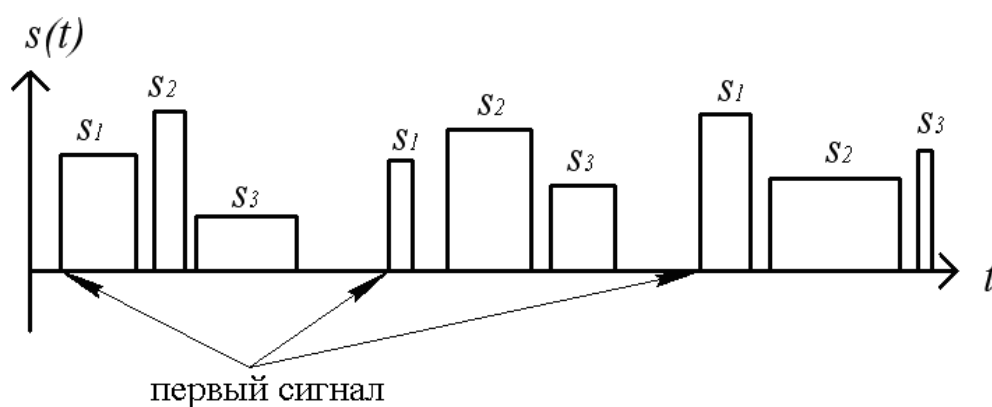


Рис. 5.3. Временное разделение каналов

Как видно из диаграммы рис. 5.3, при ВРК все сигналы должны быть дискретными и, в частности, цифровыми. Поэтому современные системы передачи с ВРК относят к *цифровым системам передачи*.

Первую в мире многоканальную систему передачи с временным разделением каналов реализовал знаменитый французский инженер *Жан Морис Эмиль Бодо* (*J.M.H. Baudot*, 1845-1903), предложивший в 1874 году так называемый принцип двукратного телеграфирования, т.е. способ работы на одну линию двух пар телеграфных аппаратов.

Принцип временного разделения каналов можно пояснить схемой рис. 5.4.

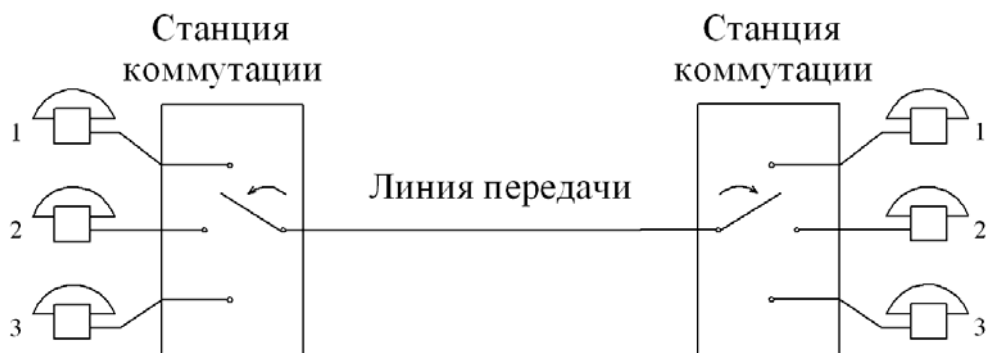


Рис. 5.4. Принцип временного разделения каналов

Как видно из схемы рис. 5.4, сигналы от трёх телефонных аппаратов поступают последовательно на другие три аппарата с помощью двух синхронно и синфазно управляемых переключателей, находящихся на станции коммутации.

Сравнительно недавно при организации многоканальных систем передачи стал применяться способ *кодированного разделения каналов* (КРК). Он основан на разделении сигналов по их форме, т.е. закону изменения во времени.

История способа КРК начинается с того момента, когда в 1935 г. аспирант Ленинградского электротехнического института связи Дмитрий Агеев опубликовал работу «Основы теории линейной селекции». В ней он показал, что для полного разделения сигналов не обязательно разносить их по частоте или во времени. Можно разделять также сигналы с совпадающей шириной спектра и действующие на одном и том же промежутке времени. При этом применяют более общий принцип *передачи ортогональных сигналов*.

Напомню, что множество функций $\{s_i(t)\}$ называют ортогональными на промежутке T , если

$$(s_i, s_k) = \int_0^T s_i(t) \cdot s_k(t) dt = \begin{cases} \int_0^T s_i^2(t) dt & \text{при } i = k; \\ 0 & \text{при } i \neq k. \end{cases}$$

Применяя указанную операцию вычисления скалярного произведения, где один из сомножителей – копия сигнала $s_i(t)$, можно выделить этот сигнал из смеси с другими сигналами того же канала.

Примерами ортогональных сигналов являются гармонические сигналы кратных частот, а также всякие сигналы с неперекрывающимися спектрами или временами существования. В сотовых телефонах стандарта CDMA для целей КРК применяют так называемые функции Уолша (Walsh). При этом образуются *кодированные каналы*.

Преимущества систем передачи с КРК – повышенная *ёмкость системы*, т.е. возможность реализации гораздо большего числа каналов, чем при ВРК или ЧРК. Другое преимущество – возможность качественной передачи сигналов с гораздо меньшей мощностью, чем та, что необходима для систем с ВРК или ЧРК.

Рассматривая многоканальные системы передачи, необходимо отметить, что назначение каналов системы может быть различным. Например, при реализации системы с ВРК нужно предусмотреть специальные каналы, по которым необходимо передавать сигналы, обеспечивающие синхронную и синфазную работу ключей на станциях коммутации, т.е. передавать дополнительную служебную информацию для обеспечения работы системы связи.

Каналы, отличающиеся по виду или составу передаваемой информации, называют *логическими*. Примеры логических каналов – *каналы трафика* или *каналы управления (сигнализации)*.

Для нашего примера с ВРК канал управления – тот, по которому передаются сигналы, управляющие переключателями – сигналы синхронизации.

Канал трафика – это логический канал передачи той информации, ради которой создана система связи, т.е. передачи речи, музыки, изображений, данных и т.п.

Термин «трафик» происходит от английского слова «traffic», т.е. поток информации или транспорта и означает *совокупность (поток) сообщений, передаваемых по линии связи*.

Заканчивая рассмотрение систем и каналов передачи, необходимо отметить, что в многоканальной системе одни устройства являются общими для всех каналов, а другие – нет.

Устройства, используемые сразу для всех каналов, образуют *линейный тракт передачи*.

Урок 2. Коммутация в сетях электросвязи

Узлы сети – телефонные станции

Для обеспечения передачи сигналов оконечные (абонентские) устройства сети должны быть электрически соединены друг с другом. Это соединение, как правило, проходит через несколько участков: абонентские и соединительные линии, одна или несколько узловых станций сети. Совокупность этих участков образует *соединительный тракт передачи*.

Процесс установления соединения между абонентами заключается в электрическом соединении (замыкании) определённых входящих и исходящих линий связи на узловых станциях сети. После окончания переговоров происходит размыкание линий, в результате чего тракт распадается на отдельные участки.

Функции, выполняемые узловыми станциями сети в процессе организации и распада соединительных трактов, называют коммутацией. Таким образом, коммутацией называют процесс замыкания, размыкания и переключения электрических цепей [2, 3, 5].

Коммутация осуществляется с помощью комплекса специальных устройств, объединяемых под общим названием – *станция коммутации*. В телефонной сети это *телефонная станция*.

Рассмотрим процесс коммутации и работу станций коммутации на примере станций телефонной сети.

Телефонные станции возникли практически сразу после изобретения телефона. Уже в 1878 году в городе Нью-Хэйвен, штат Коннектикут, США, начала работу первая в мире телефонная станция. Первая телефонная станция России была открыта в Нижнем Новгороде в 1881 году. Её ёмкость была – 128 номеров. С тех пор техника коммутации стремительно развивалась, так что в настоящее время на просторах России применяются одновременно пять поколений телефонных станций. При этом станции пятого поколения отличаются от станций первого поколения так же, как современный локомотив от почтовой кареты.

Несмотря на существенные отличия в конструкции и схемотехническом исполнении, станции коммутации имеют одну и ту же структурную схему и состав (рис. 5.5).

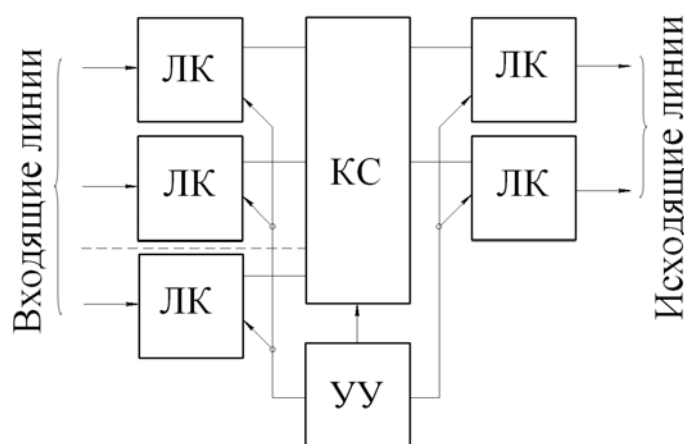


Рис. 5.5. Структурная схема станции коммутации

Основным элементом оборудования станции является *коммутационная система* КС или, короче, *коммутатор*. Она выполняет соединения входящих и исходящих линий на время разговора. Каждая входящая и исходящая линия имеет на станции индивидуальное оборудование, называемое *линейным комплектом* ЛК. Оно обеспечивает сигнализацию и поступление вызова, подключение абонентской линии к другим элементам оборудования станции, трансляцию сигналов набора номера, защиту коммутатора от перенапряжения и грозовых разрядов и др. Работу всех элементов оборудования станции организует *управляющее устройство* УУ. Ещё есть устройства переключения линий (постоянного или временного), называемые *кроссами*.

Первые телефонные станции были *станциями ручного обслуживания* (РТС). Для соединения абонентов друг с другом необходимо было вручную вставлять контактные штыри в контактные гнезда на панели коммутатора. Для этого нужен большой штат операторов – «телефонных барышень». В своё время претенденток на работу в качестве оператора телефонной станции выбирали почти так, как сейчас выбирают модели для прогулок на подиуме. Претендентки должны были

быть высокого роста и, что самое важное, с длинными руками, чтобы дотягиваться до самых дальних узлов панели коммутатора. Труд телефонистки был очень тяжёл и требовал большого эмоционального напряжения. Штат телефонисток требовался очень большой – до 1500 человек (целый полк!). Скорость соединения была невысокой, допускались ошибки в соединениях, ни о какой конфиденциальности разговоров не могло быть и речи. Поэтому от ручных станций стали переходить к автоматическим, в которых соединения осуществляют механизмы или электронные устройства.

Исторически первыми автоматическими телефонными станциями (АТС) явились станции *декадно-шаговой системы* (ДШС).

Первая АТС стала работать опять-таки в США, в г. Нью-Бедфорде в 1900 году.

Уже само название даёт первое представление о работе декадно-шаговых систем – это пошаговый поиск (установление) нужной цифры номера абонента в пределах декады (десятка). Техническую основу системы составляют два прибора – шаговый искатель на АТС и дисковых номеронабиратель на телефонном аппарате. При наборе абонентом очередной цифры телефонного номера с помощью дискового номеронабирателя в абонентскую линию поступают несколько импульсов тока, т.е. линия прерывается (отключается от источника питания) несколько раз. При этом число импульсов тока равно (за исключением цифры 0) значению набираемой цифры. Каждый импульс тока передвигает подвижный контакт электромеханического переключателя – шагового искателя – на одну позицию, соединяя подвижный контакт с очередным неподвижным. Таким образом подвижный контакт перемещается на число позиций (шагов), равное значению набираемой цифры. При наборе абонентом следующей цифры в работу вступает следующий искатель. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет набраны все цифры телефонного номера.

В типовой станции на 10 000 номеров содержатся четыре соединённых электрически шаговых искателя. Один из них устанавливает единицы (числа первого разряда), следующий – десятки, далее набираются сотни и тысячи. При этом упрощённая структурная схема соединения двух абонентов выглядит, как показано на рис. 5.6.

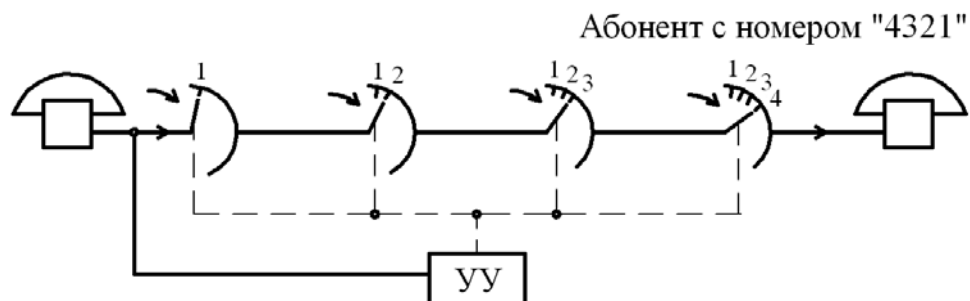


Рис. 5.6. Структура декадно-шаговой системы

В станциях декадно-шаговой системы управление коммутатором производится с помощью телефонного аппарата абонента. Такой метод управления называется *непосредственным*.

Существенные недостатки рассматриваемых устройств, а именно, большое число низконадёжных электромеханических устройств с движущимися трущимися контактами, заставили искать новые принципы действия и конструкции АТС.

Следующее – *второе поколение АТС* – это *станции координатной системы АТС-К*. Принцип построения коммутаторов этих систем позаимствован у ручных станций. Так же, как и в ручных системах, в станциях координатной системы применяют так называемый «шведский» *ламельный коммутатор*.

Ламельный коммутатор – это два взаимноперпендикулярных ряда медных (или латунных) пластин (ламель), разделённых воздушным промежутком. При этом к одному ряду подключают входящие линии, а к другому – исходящие. В ручных станциях, как уже отмечалось, для обеспечения соединения в отверстия на заданных перекрёстках панелей (ламель) вставлялись медные штыри. В координатных АТС роль штырей выполняют контакты электромеханических реле. Схема соединений становится такой, как на рис. 5.7.

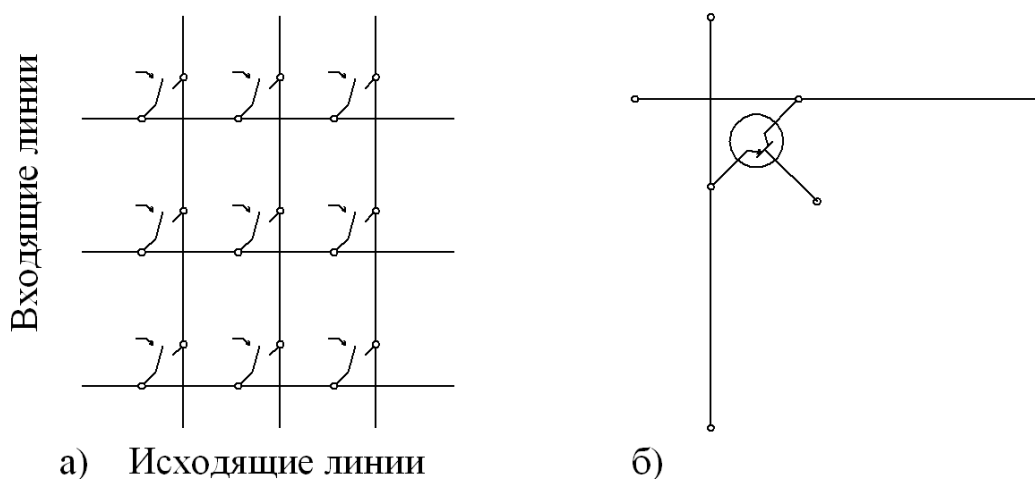


Рис. 5.7. Схема ламельного коммутатора

Преимущества *координатных соединителей*, применяемых на станциях АТС-К, или *кроссбаров*, в том, что число соединений в коммутаторном тракте меньше, чем в декадно-шаговых системах. Кроме того, они обеспечивают давящий, а не трущийся контакт. Поэтому соединения надёжнее и не производят треска в телефонной трубке. Скорость соединения заметно выше. В координатных АТС путь соединения уже определяет не абонент, а «сама» станция. Это *общее управление процессом набора*.

В СССР в 60-х – 80-х годах XX века выпускались станции АТС-К 100/2000 и применялись станции фирмы Эриксон (Швеция) типов АРМ-13 и АРЕ-11.

Из-за применения электромагнитных реле станции типа АТС-К занимают большие площади и потребляют значительную мощность. Время срабатывания реле, порядка единиц миллисекунд, перестало удовлетворять абонентов и разра-

ботчиков телефонных сетей. Возникла потребность и появилась возможность замены электромеханических реле на более совершенные коммутационные приборы.

На следующем, *третьем поколении АТС* вместо электромеханических реле стали применять более экономичные и быстродействующие *герконовые реле*. Герконовое реле или, короче, *геркон* (герметический контакт), это магнитоэлектрическое устройство, в котором контакты изолированы от окружающей среды. Они управляются магнитным полем от внешнего электромагнита.

Станции на герконах стали называть *квазиэлектронными АТС* (АТС-КЭ). Примером таких станций являются широко распространённые в странах СНГ станции «Квант» с ёмкостью до 2048 номеров.

Последнее, *четвёртое поколение* современных АТС – это *электронные станции*, в которых вместо электромеханических реле или герконов применяют транзисторы, используемые в так называемом ключевом режиме (см. рис. 5.7б). Они наиболее совершенны и надёжны, имеют минимальные габариты и вес, легко управляются с помощью ЭВМ, имеют наивысшее быстродействие.

Необходимо отметить ещё одно важное преимущество, которое реализуется при переходе на электронные АТС. Дело в том, что станции всех предыдущих трёх поколений реализуют принцип *пространственной коммутации*. В них для обеспечения соединений изменяется пространственная структура коммутируемой электрической цепи. Этот же принцип реализован и на первых электронных АТС, работающих с аналоговыми сигналами.

Станции с пространственной коммутацией имеют общий существенный недостаток – низкое качество контактов. В замкнутом состоянии применяемые элементы коммутации вносят значительно затухание в разговорную цепь, изменяющееся случайным образом, что ухудшает качество связи.

В электронных АТС появилась и стала реализовываться возможность применения нового принципа *временной коммутации*, когда применяют временное разделение каналов (ВРК) при передаче цифровых сигналов. Современные электронные АТС с временной коммутацией или обрабатывают цифровые сигналы от абонентов, либо преобразуют их в цифровые на самой станции. При этом становится логичным и целесообразным сочетать цифровое представление сигналов и временное их разделение.

В настоящее время на сетях СНГ работают электронные станции МТ 20/25 производства Уфимского завода по лицензии французской фирмы Алкатель. Есть также станции EWSD фирмы Сименс (Германия), SESS производства Нидерландов, E10 фирмы Алкатель и др. Обычно станции ёмкостью более 32 номеров – цифровые с временной коммутацией.

При переходе от аналоговых к цифровым системам и сетям телефонной связи также возникает и реализуется возможность переходить к цифровым принципам коммутации, применяемым в современных цифровых сетях телеграфной связи и системах передачи цифровых данных. Это *коммутация сообщений* и *коммутация пакетов*.

В рассмотренных в данной лекции примерах изложены случаи применения принципа *коммутации каналов* (КК).

При коммутации каналов сначала организуется сквозной канал между абонентами через несколько узлов (станций) коммутации, а затем происходит передача сообщений. Установленное соединение ликвидируется после соответствующего решения абонентов.

Основное достоинство принципа коммутации каналов – работа в реальном масштабе времени, в режиме диалога с минимальным временем установления соединения. Существующий недостаток – плохое использование каналов связи с большими паузами. Тогда, например, при передаче данных, полезная нагрузка каналов составляет только единицы процентов от их реальной пропускной способности.

В системах с коммутацией каналов, если в момент вызова сеть не может обеспечить соединение, вызывающий абонент получает сигнала отказа в обслуживании, т.е. «занято». Поэтому эти системы называют *системами с отказами*.

Системы коммутации сообщений и пакетов относят к классу *систем с накоплением*. В них входящие сигналы сначала записываются в запоминающем устройстве (ЗУ), а затем поступают в исходящие каналы по мере их освобождения. Коммутацию с накоплением можно достаточно эффективно реализовать только в цифровых системах.

При *коммутации сообщений* (КС) запоминаются и затем передаются полностью сообщения абонентов. Этот принцип реализуется главным образом на телеграфных сетях общего пользования.

Более гибок и производительен метод *коммутации пакетов* (КП), когда сообщения разбивают при обработке на пакеты небольшой длительности. Далее сигнал передаётся в освободившиеся каналы пакетами. На приёмной стороне пакеты собираются обратно в единый сигнал. Из-за небольшой длины пакетов при достаточно малом интервале между ними при этом принципе передачи также возможен режим диалога, как в системах с коммутацией каналов (КК). Однако, загрузка каналов сообщений может быть доведена почти до предельных возможностей.

Итоги обзора систем и станций коммутации отразим в табл. 5.1.

Станции коммутации

Метод организации соединения	Ручные (РТС)	Автоматические (АТС)			
Поколения	Ламельные, координатные	Декадно-шаговые (АТС-ДШК)	Координатные (АТС-К)	Квази-электронные (АТС-КЭ)	Электронные (АТС-Э)
Тип коммутируемых сигналов	Аналоговые				Цифровые
Принцип коммутации	Пространственный с частотным разделением каналов				Временной с РВК
Принцип обслуживания	Коммутация каналов (Системы с отказами в обслуживании)				Системы с накоплением
Способ обеспечения двусторонней связи	Дуплекс (Диалог)				Симплекс и дуплекс
Метод управления набором	Непосредственный	Общее управление			
		Централизованное		Распределённое	
Коммутирующий элемент	Штепсель (Штырь)	Шаговый искатель (ШИ)	Реле	Геркон	Транзистор
Примеры реализации	Шведский коммутатор		АТС-К 100/2000; АРМ-13	«Квант», «Исток»	МТ 20/25, EWSD, 5ESS

ЛЕКЦИЯ 6

Принципы построения систем и организации радиосвязи

Урок 1. Общие принципы и особенности построения систем радиосвязи

Радиосвязь и радиоволны

Радиосвязь – вид электросвязи, осуществляемый с помощью радиоволн [7].

Под *радиоволнами* принято понимать *электромагнитные волны*, частота которых выше 3 кГц и ниже 3000 ГГц, распространяющиеся в среде без искусственных направляющих линий. Частоты радиоволн называют *радиочастотами*.

Повторим некоторые необходимые понятия, описывающие радиоволны.

Скорость распространения электромагнитных волн (ЭМВ) зависит от свойств среды. При распространении в воздухе скорость ЭМВ близка (несколько меньше) скорости света в вакууме, т.е. $v = 3 \times 10^8$ м/с.

Электромагнитные волны создаются источниками с периодически изменяющимися токами. Если к некоторый момент времени ЭМВ имеет некоторое заметное значение (например, максимальное или нулевое), то это значение она будет иметь спустя время, кратное периоду T . При этом ЭМВ переместится от источника на расстояние

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f},$$

называемое *длиной волны*.

В этих формулах v – скорость ЭМВ;

$T = 1 / f$, период волны;

$f = 1 / T$, (циклическая частота ЭМВ).

Связь между частотой и длиной волны следующая:

$$f = \frac{v}{\lambda}, \text{ Гц.}$$

т.е. частота и длина волны связаны обратно пропорциональной зависимостью. Например, частоте 1 МГц соответствует длина волны 300 м. Длина волны 1 м соответствует частоте 300 МГц.

Сигналы, передаваемые с помощью радиоволн, называют *радиосигналами*. Они состоят из множества гармонических колебаний близких частот. При этом область частот гармонических колебаний, из которых состоит радиосигнал, называют *радиочастотным спектром* или *спектром радиосигнала*. Соответственно, разность между наибольшей и наименьшей частотами колебаний радиосигнала – это *ширина спектра радиосигнала*.

Диапазон радиоволн – определённое непрерывное множество длин волн (или частот радиоволн), которому присвоено условное наименование.

В соответствии с Международным регламентом радиосвязи, все радиоволны разделены на *девять* диапазонов с номерами от четвертого до двенадцатого. Эти области радиочастот разделены границами

$$(0,3...3,0) \times 10^N \text{ Гц},$$

где N – номер диапазона.

Сведём классификацию радиоволн в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Диапазоны радиоволн

Номер диапазона	Диапазон длин волн		Диапазон частот	
	Наименование	Границы	Наименование	Границы
4	Мириаметровые или сверхдлинные волны (СДВ)	10..100 км	Очень низкие частоты (ОНЧ), (VLF)	3..30 кГц
5	Километровые или длинные волны (ДВ), (RW)	1..10 км	Низкие частоты (НЧ), (LF)	30..300 кГц
6	Гектометровые или средние волны (СВ), (MW)	100..1000 м	Средние частоты (СЧ), (MW)	300..3000 кГц
7	Декаметровые или короткие волны (КВ), (SW)	10..100 м	Высокие частоты (ВЧ), (HF)	3..30 МГц
8	Метровые или ультракороткие (УКВ), (USW)	1..10 м	Очень высокие частоты (ОВЧ), (VHF)	30..300 МГц
9	Дециметровые волны (ДМВ)	10..100 см	Ультравысокие частоты (УВЧ), (UHF)	300..3000 МГц
10	Сантиметровые волны	1..10 см	Сверхвысокие частоты (СВЧ), (SHF)	3..30 ГГц
11	Миллиметровые волны	1..10 мм	Крайне высокие частоты (КВЧ), (EHF)	30..300 ГГц
12	Децимиллиметровые волны	0,1..1 мм	Гипервысокие частоты (ГВЧ), (GHF)	300..3000 ГГц (0,3..3 ТГц)

Здесь 1 кГц = 10^3 Гц, 1 МГц = 10^3 кГц = 10^6 Гц, 1 ГГц = 10^3 МГц = 10^9 Гц, 1 ТГц = 10^3 ГГц = 10^{12} Гц.

Четкая классификация радиоволн на диапазоны необходима для однозначного понимания свойств и особенностей радиоволн различных частот и для правильного распределения радиоволн между различными службами и потребителями.

В США колебания с частотами выше 1000 МГц, т.е. 1 ГГц, называют микроволнами.

Заметим, что радиоволны диапазонов 4 – 9 применяют при радиовещании или телевизионном вещании. Для связи с подвижными объектами применяют диапазоны 9 и 10 – т.е. диапазоны дециметровых и сантиметровых волн. Начинается освоение диапазона 11, т.е. миллиметрового.

Структура радиосистем связи

Радиосвязь осуществляется с помощью *радиосистем передачи (связи)*. Структурная схема *радиосистемы связи* или *радиосети*, по существу, не отличается от соответствующей схемы любой системы или сети электросвязи. Однако, есть определённые особенности, связанные с использованием радиосигнала [2, 3, 7].

Обратимся к обобщённой структурной схеме системы передачи, являющейся составной частью системы радиосвязи (рис. 6.1) и сравним её с ранее рассмотренной схемой системы передачи в системе электросвязи. Будем предполагать, что система радиосвязи является многоканальной.



Рис. 6.1. Структурная схема радиосистемы связи

На этой схеме:

КГО – каналообразующее и групповое оборудование, обеспечивающее формирование сигналов в каналах из множества подлежащих передаче первичных сигналов электросвязи и обратное преобразование;

СЛ – проводные (!) соединительные линии, обеспечивающие подключение КГО к линейному тракту системы при его удалённости от источников первичных сигналов;

ООС пер – оконечное оборудование связи на передающем конце радиоствола РСТ, в котором формируется *линейный радиосигнал*;

ООС прм – окончное оборудование связи на приёмном конце радиоствола РСТ, где радиосигнал преобразуется для передачи по приёмной соединительной линии СЛ.

Новое в этой схеме то, что элементы линейного тракта системы передачи называются по-особому. При этом среда распространения линейных сигналов названа *радиостволом* (РСТ).

Радиоствол (radiotrunk) – это совокупность среды передачи радиосигналов и дополнительного оборудования для *ретрансляции* радиосигналов. Если в радиостволе нет ретрансляторов, то он *простой*, в противном случае – *составной*.

Радиоретранслятор – устройство для приёма, преобразования, усиления и повторной передачи радиосигналов.

Общие принципы организации радиосвязи

Классификация радиосистем передачи

Средой распространения в канале радиосвязи является воздух, а не направляющая линия. Поэтому радиосигналы могут распространяться в различные стороны. С применением высоконаправленных *передающей* и *приёмной антенн* возможно передавать этот сигнал в заданном направлении и принимать с заданного направления, т.е. создавать пространственно-ориентированные каналы.

Радиоканал, обеспечивающий связь в одном направлении, называют *радиолинией*.

Рассмотрим упрощённую структурную схему радиолинии с одним радиоканалом (см. рис. 6.2).

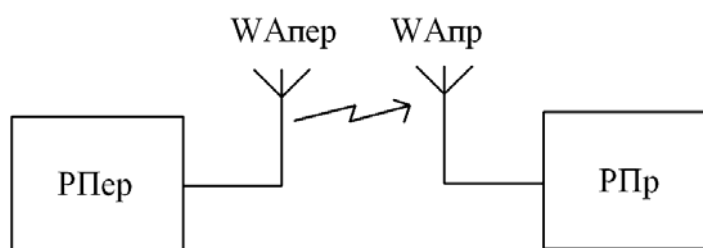


Рис. 6.2. Одноканальная радиолиния

В составе радиолинии имеется радиопередающее устройство из собственно радиопередатчика РПер и передающей антенны $WA_{пер}$, а также радиоприёмное устройство из радиоприёмника РПр и приёмной антенны $WA_{пр}$. В данном случае сигнал распространяется в одном направлении от передатчика к приёмнику. Это пример *односторонней радиосвязи*, применяемой, например, при организации радио- или телевидения.

В средствах связи с подвижными объектами стремятся организовать *двустороннюю радиосвязь*, когда каждый из пунктов связи может работать и на передачу, и на приём.

Для организации двусторонней радиосвязи применяют *радиостанции*, имеющие в своём составе приёмник и передатчик.

Существуют два *основных варианта организации двусторонней радиосвязи* – *симплекс* и *дуплекс*.

При *симплексной радиосвязи* передача и приём в каждом пункте ведётся попеременно (поочередно). При этом передатчики и приёмники всех радиостанций настроены на один радиоканал (работают в одном общем радиоканале). Каждый корреспондент (абонент) включает свой передатчик только на время передачи своего сообщения и выключает на время приёма сигнала от другого корреспондента.

Изобразим структурную схему линии симплексной радиосвязи на рис. 6.3.

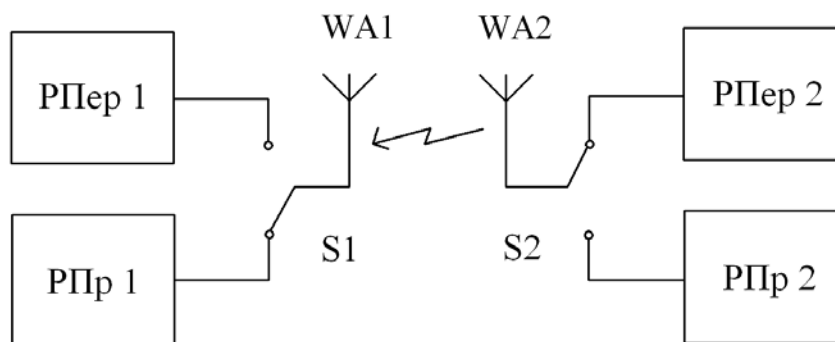


Рис. 6.3. Линия симплексной радиосвязи

На схеме рис. 6.3 изображён момент передачи сигнала от радиопередатчика второй станции РПер2 к приёмнику первой станции РПр1. Для передачи сигнала в обратном направлении нужно изменить на противоположные положения переключателей S1 и S2.

Симплексная связь – не самая удобная для организации диалога. Она применяется при относительно небольших потоках сообщений. Более совершенна *дуплексная радиосвязь*, при которой приём и передача радиосигналов в каждом пункте осуществляется одновременно. При этом приёмники и передатчики постоянно включены на каждом пункте. Чтобы сигналы, одновременно передаваемые с двух и более пунктов, не мешали друг другу, их передают по разным каналам – частотным, физическим или кодовым (логическим).

Передача сигналов в противоположных направлениях проводится по разным каналам ещё и для того, чтобы радиоприёмник одного из пунктов принимал только сигнал от передатчика другого пункта, но не принимал сигнал от собственного радиопередатчика.

Рассмотрим для примера структурную схему дуплексной радиосвязи между двумя абонентами, изображённую на рис. 6.4.

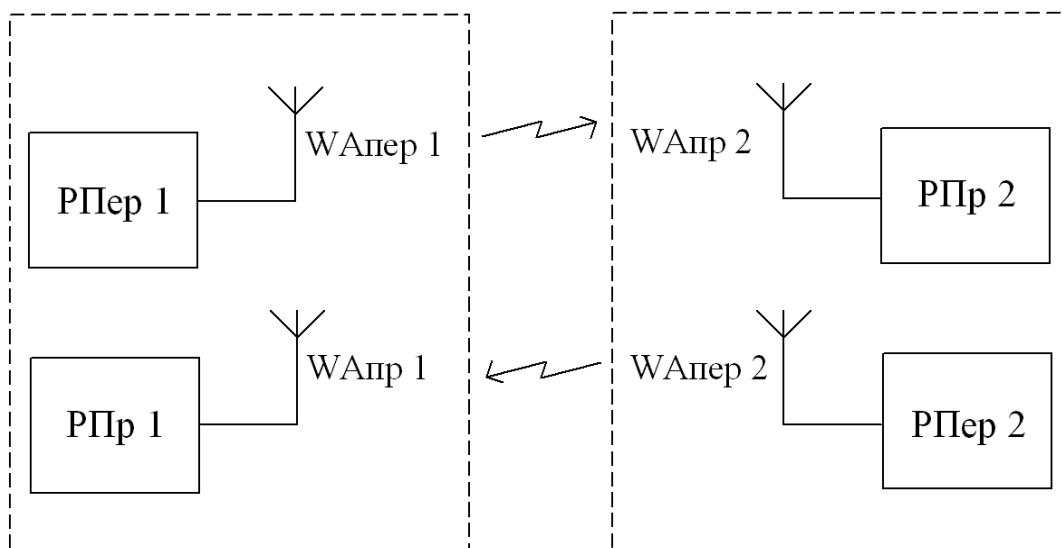


Рис. 6.4. Линия дуплексной радиосвязи

Если необходимо иметь радиосвязь с большим числом пунктов, организуется *радиосеть*, как совокупность радиолиний, работающих на общей группе каналов (радиостволе).

Урок 2. История развития радиосвязи

Создание радио обычно связывают в России с успешным практическим применением радиоволн в регистрации дальних атмосферных грозных разрядов, осуществленным российским физиком Александром Степановичем Поповым в 1895 году и последующим развитием искрового радиотелеграфа. Однако, радио как применение радиоволн для различных целей возникло значительно раньше. Успехи А.С. Попова и других изобретателей были обусловленными достижениями их великих предшественников.

Первым из ученых, кто предсказал существование электромагнитных волн, был великий британский физик Майкл Фарадей (1791 – 1867). Не надеясь, что его открытие поймут современники, он записал свои предвидения в письме, которое сдал в запечатанном виде 12 декабря 1832 года в архив Королевского общества с просьбой распечатать письмо через сто лет. Этот конверт был вскрыт в 1938 году, то есть через 106 лет спустя.

Последующее развитие науки, и, в частности, наук об электричестве, неизбежно возродило идею о существовании электромагнитных волн. Под влиянием работ М. Фарадея, Дж. Генри, Т.А. Эдисона и других, британский физик Джеймс Кларк Максвелл (1831 – 1879) создал основы теории электромагнитного поля в работе, вышедшей в 1864 году. Теория Максвелла была встречена учеными с большим недоверием. Она была принята учеными только после того, когда германский ученый Генрих Рудольф Герц (1857 – 1894) доказал факт существования электромагнитных волн опытным путем и нашел средства их возбуждения и обнаружения, так называемые вибратор и резонатор – диполь Герца.

После успешных экспериментов Г.Герца ученые сосредоточились на поиске средств для изучения и обнаружения радиоволн. Французский физик Эдуар Бранли (1844 – 1940) обнаружил в 1891г., что под действием электрического разряда металлические опилки, находящиеся в изолированной коробке, резко изменяют свою электропроводимость. Британский физик Оливер Лодж (1851 – 1940) в 1893 году усовершенствовал «Трубку Бранли» и назвал разработанный индикатор электромагнитных волн как «когерер». Последующим ученым осталось воспользоваться разработанными устройствами для создания приемника и передатчика радиоволн.

Талантливый российский физик, преподаватель минных офицерских классов в городе Кронштадте Александр Степанович Попов (1859 – 1906) первым догадался восстанавливать чувствительность когерера Лоджа с помощью молоточка электрического звонка. Для усиления принятых сигналов он применил электромагнитное реле, изобретенное Дж. Генри. В качестве антенны разработанного им приемника применялся вибратор Герца. Приемник А.С.Попова был впервые продемонстрирован на заседании Русского физико-химического общества *7 мая 1895 года*. Второй доклад с демонстрацией радиосвязи был сделан *24 марта 1896 года*. На этом заседании А.С. Попов демонстрировал передачу на 250 метров первой в мире радиограммы. Вместо сигнального звонка в демонстрируемом приборе был применен телеграфный аппарат С. Морзе, зафиксировавший на телеграфной бумажной ленте два слова «Heinrich Hertz».

Когда А.С. Попов был занят совершенствованием радиоприемника, молодой итальянец – первый в мире радиолобитель Гульельмо Маркони (1874-1937) стремился создать мощные источники электромагнитных волн. По результатам своих опытов он подает в Британское бюро патентов *2 июня 1896 года* заявку на «усовершенствования в передаче электрических импульсов и сигналов и в аппарате для этого». Патент на изобретение был выдан *2 июля 1897 года*, и после этого было опубликовано описание передатчика и приемника Маркони. Немудрено, что при тогдашнем состоянии техники радиосвязи, известных средств приема и обнаружения радиосигналов приемник Маркони, в основном, был построен как приемник Попова. Это послужило основанием для последующих обвинений в адрес Маркони в том, что он украл изобретение Попова.

Радиоприемник Г. Маркони отличался от приемника А.С. Попова, во-первых, тем, что вместо электрического звонка для восстановления чувствительности когерера был разработан специальный встряхиватель. Более существенное достижение Г. Маркони в том, что он впервые применил в передатчике и приемнике антенны в виде высоко поднятого проводника и заземления, а также колебательный контур, что существенно повышало дальность радиосвязи.

Последующее десятилетие было временем научного соревнования между А.С.Поповым и Г. Маркони в области совершенствования радиосвязи.

В 1897 году А.С. Попов достиг дальности радиосвязи в 5 километров и предложил оснащать своими радиостанциями корабли военно-морского флота. Промышленное производство радиостанций Попова для флота было начато в 1899 году французской фирмой Дюкрете.

В 1899 году А.С. Попов разрабатывает и патентует первый в мире *детекторный приемник* на базе кристаллического диода, созданного им же. Новый прибор стал прототипом будущих приемников радиотелефонной связи. Первые телефонные приемники Попова с дальностью действия в 45 км помогли успешно снять с камней броненосец «Генерал-адмирал Апраксин» в 1900 году.

Не менее впечатляющими были успехи Г. Маркони. В марте 1899 года он осуществил связь между Англией и Францией при расстоянии в 45 км, а в декабре 1901 года впервые в мире передал радиосигнал через Атлантический океан на расстояние около 3700 км. Для этого он построил радиопередатчик мощностью 10 кВт и сложную по тем временам антенну.

В течение 1905–1911 годов были установлены радиостанции на железнодорожном составе (Ли де Форест, США, 1905г.), пароходах и самолетах (1911г., Англия). Благодаря подаче сигналов о помощи от радиостанции Маркони были спасены 700 человек с гибнущего «Титаника».

Первые опыты передачи по радио речевых сообщений были сделаны А.С.Поповым в 1903 году вместе с московским физиком С.Л. Лифшицем. В 1907 году они демонстрировали передачу речи на расстояние более 2 км.

Дальнейшее развитие радиосвязи связано с изобретением в 1904 году британским инженером Джоном Филлингом (1849-1945) вакуумного диода, а также с изобретением в 1906 году первой управляемой электронной лампы – лампового триода американским инженером Ли де Форестом (1873 – 1961). С тех пор наступила эра ламповой радиотехники и техники связи.

Продолжались также исследования по применению в качестве обнаружителей радиосигналов (детекторов) кристаллов полупроводников. Самых больших успехов достиг в этом К.Ф. Браун. За успехи в развитии радиосвязи ему и Г. Маркони в 1909 году была вручена Нобелевская премия. Однако время полупроводниковой радиосвязи еще не пришло.

В 1913 году был разработан первый регенеративный высокочувствительный ламповый приемник (Э. Армстронг) и ламповый генератор незатухающих гармонических колебаний (В. Мейснер). Ламповые генераторы вытеснили ранее применявшиеся искровые и дуговые радиостанции и способствовали развитию радиотелефонной связи. С этого года по 60-е годы XX века радиотехника и связь становятся ламповыми.

Важной вехой в развитии приемно-усилительной аппаратуры стало изобретение в 1918 г. *супергетеродинного приемника*. Патент на него получили одновременно Э. Армстронг в США и Л. Леви во Франции. Однако реализовать супергетеродинные приемники удалось только в 1931 – 32 годах, когда для них разработали специальные многоэлектродные электронные лампы.

Следующий период развития средств связи – это эпоха полупроводниковой техники. Еще в 1926г. были разработаны полупроводниковые выпрямители переменного тока из селена и сернистой меди. Затем разработали полупроводниковые детекторные диоды.

В 1948 году американские ученые Бардин и Браттейн создали германиевый биполярный транзистор. В 1952 году были разработаны полевые транзисторы.

Техника на транзисторах стала более надежной. Были существенно уменьшены габариты, вес, потребляемая мощность. Появились предпосылки к широкому развитию малогабаритных абонентных приемопередающих устройств, которые могут устанавливаться на подвижных объектах.

Следующая – *эпоха микроминиатюризации аппаратуры*, свидетелями которой мы являемся. Современная связная радиоаппаратура строится на базе транзисторных интегральных схем. Последними итогами столетнего развития радиосвязи стали сотовый радиотелефон и приемник системы персонального радиовызова – пейджер.

Нынешний этап развития радиосвязи означает также зарождение и развитие *космической связи через спутники Земли*. Основоположниками космической радиосвязи принято считать американского инженера *Карла Джански* и английского инженера *Артура Кларка*.

Карл Джански (1905 – 1950) работал радиоинженером-исследователем в лаборатории компании «Белл» и участвовал в экспериментальных исследованиях источников помех радиосвязи. При этом в 1932 году было обнаружено, что среди помех есть космические шумы, проходящих от неизвестных галактических источников.

Открытие космических радиоизлучений привело к созданию для их исследования радиотелескопов, имеющие высокочувствительные приемники и высоконаправленные антенны. Эти разработки были впоследствии успешно применены для приема сигналов с космических аппаратов.

В феврале 1945г. в радиолобительском журнале «Wireless World» была опубликована статья о возможности применения ракет для запуска искусственных спутников Земли в научных и практических целях. Ее автором был 27-летний лейтенант Королевских ВВС Великобритании, специалист по радиолокации и средствам посадки самолетов *Артур Сесил Кларк* (1917-...). В этой статье он предсказал, что при выводе спутников на геостационарные орбиты, когда они «неподвижно зависают» над определенной точкой на земной поверхности, можно применять эти спутники для ретрансляции полученных с поверхности Земли сигналов.

Интересно, что Артур Кларк не только разрабатывал спутниковые системы связи. Он был членом Британского Межпланетного Общества. Широким массам он известен как знаменитый писатель-фантаст, автор более, чем 50-ти научно-популярных и научно-фантастических книг, изданных более, чем на 30 языках.

Предсказания А.Кларка о создании системы спутников для космической связи были реализованы Научной компанией по исследованию космического пространства США (НАСА) в 1963 – 64 годах.

Первые системы подвижной спутниковой связи стали создаваться в 70-е годы XX века. В скором времени мы все станем свидетелями повсеместного применения этих систем.

ЛЕКЦИЯ 7

Основные преобразования цифровых сигналов и их отражение в учебном плане специальности

Необходимость в применении цифровых систем связи

Системы цифровой связи (digital communication systems – DCS) внедряют оттого, что они обеспечивают способы обработки информации, не доступные при использовании аналоговой передачи.

В таких системах передаются, принимаются, накапливаются и обрабатываются *цифровые сигналы*, т.е. процессы, передающие цифровые сообщения. Цифровое сообщение получается из исходного аналогового при применении операции *кодирования* (encoding), т.е. преобразования в цифровой код.

В цифровых системах связи применяется восьмиразрядный двоичный код, т.е. сообщения представляют последовательностью двоичных цифр – *битов* (от binary digit – двоичная цифра). При этом с помощью двоичных чисел можно передать до $256 = 2^8$ знаков сообщения.

Сигналы связи делят на видеосигналы (в частности, узкополосные сигналы) и радиосигналы (полосовые сигналы). *Видеосигналы* – это первичные сигналы радиосвязи, формируемые непосредственно на базе сообщений. *Радиосигналы* – это линейные сигналы, способные распространяться по каналам радиосвязи.

Цифровой видеосигнал – это процесс, принимающий с течением времени по заданному закону два возможных значения (уровня), принимаемые за «0» и «1». Например, сигнал, изображённый на временной диаграмме рис. 7.1

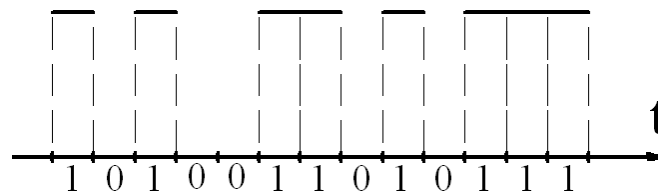


Рис. 7.1. Пример цифрового видеосигнала

Цифровой радиосигнал (или полосовой сигнал) – это колебание, в основном, гармоническое, из диапазона радиочастот, информационный параметр которого – амплитуда, частота или фаза принимает с течением времени по заданному закону одно из двух определённых значений. Пример цифрового радиосигнала на базе гармонического колебания (несущей) представлен на рис. 7.2.

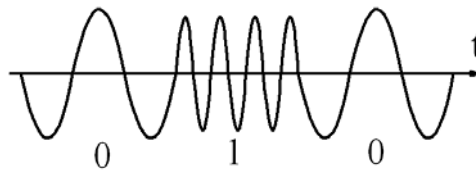


Рис. 7.2. Пример цифрового радиосигнала

Здесь значения бит закодированы частотой сигнала. Так как цифровые сигналы имеют только два значения информационного параметра, то их помехоустойчивость выше, чем аналоговых, у которых значение информационных параметров есть непрерывное множество. Поэтому даже небольшие искажения аналоговых сигналов из-за добавления помех могут сделать его неузнаваемым. В то же время даже при добавлении к цифровым сигналам помех значительного, сравнимого уровня, можно достаточно просто и уверенно распознать два значения их уровня, частоты и фазы.

Цифровые системы естественно сопряжены с программируемыми цепями – микропроцессорами, что позволяет проводить в цифровой форме и достаточно просто операции шифрования сообщений, временного разделения каналов, коммутацию пакетов, защиту от замираний при интерференции сигналов, что трудно или практически невозможно реализовать при обработке аналоговых сигналов.

При передаче и коммутации различные цифровые сигналы, передающие речевые и текстовые сообщения, телеграфные коды, данные ЭВМ и др. можно считать идентичными. Ведь они имеют одинаковую структуру – состоят из двоичных сигналов (бит). Это облегчает создание интегрированных многофункциональных систем связи.

Почему же цифровые системы распространяют только сейчас, если они такие хорошие? Для развития цифровой связи прежде необходимо было развить устройства обработки цифровых сигналов – *сигнальные процессоры*. Большие трудности возникли при решении важной специфической проблемы цифровой связи – *синхронизации сигналов* на передающем и приёмном концах канала связи.

Ввиду отмеченных преимуществ цифровых сигналов применяемые в настоящее время средства подвижной связи второго поколения являются цифровыми. Поэтому перейдём к рассмотрению типовой функциональной схемы цифровой системы радиосвязи.

Типовая функциональная схема цифровой системы радиосвязи

Основные преобразования цифровых сигналов

Рассмотрим типовую функциональную схему цифровой системы связи, представленную на рис. 7.3. Она разделена на два столбца. Левый столбец схемы описывает преобразования сигнала при его передаче. Правый столбец показывает, как преобразуются сигналы при их приёме. В нижней части схемы отмечены операции, проводимые над сигналом в радиоканале связи.

Направления передачи преобразуемых сигналов показаны стрелками. Обратные операции при приёме и передаче сигналов отражены на одинаковых уровнях.

Можно считать, что слева изображён передатчик, а справа – приёмник, а внизу – канал передачи.

Представленная функциональная схема рис. 7.3 соответствует типовой обобщённой структурной схеме средств радиосвязи и раскрывает её для случая обработки цифровых сигналов. Каждой отмеченной на схеме операции соответствует функциональный блок устройства цифровой радиосвязи.

Итак, некоторый источник информации выдаёт сообщение, имеющее, как правило, аналоговый вид. Оно сначала преобразуется в цифровой видеосигнал операцией *аналогово-цифрового преобразования*. В зарубежной литературе эта операция называется *форматированием*. Формирование аналоговых сигналов включает в себя операции дискретизации и квантования. После форматирования сигнал приобретает форму последовательности двоичных сигналов – *потока битов* (bit stream).

Следующая операция при передаче – *кодирование источника* (source encoding). Это как раз одна из тех операций, которые могут быть качественно выполнены только с применением цифровой обработки.

Кодирование источника – это такое преобразование первичного сигнала источника, при котором удаляется избыточная информация или, как говорят, происходит сжатие исходной информации. Это необходимо для увеличения числа каналов в радиосистеме передачи (радиостволе) и для снижения необходимой скорости передачи информации.

Например, кодирование источника обязательно применяют при передаче и обработке речевых сигналов, обладающих, как уже обсуждалось нами, большой информационной избыточностью. При этом качество телефонной передачи практически не ухудшается, если вместо воспроизведения всех мгновенных значений перейти к передаче его медленно изменяющихся параметров – основного тона, формант и т.п. Ширина спектра сигналов, передающих медленно меняющиеся параметры речевого сигнала, значительно меньше, чем у него самого. За счёт этого в заданном частотном диапазоне можно разместить больше частотных каналов.

Устройства для кодирования источников речевых сигналов, т.е. сжатия ширины спектра этих сигналов получили название *вокодеров* (от английского слова voice encoder – кодировщик голоса). При применении наиболее совершенных вокодеров, называемых *липредерами* (линейными предсказателями – linear predictor), удаётся снизить необходимую скорость передачи оцифрованных речевых сигналов с 64 кбит/с до 6...8 кбит/с, т.е. разместить в полосе частот исходного речевого сигнала до 8-10 частотных каналов.

Чтобы отличить операцию форматирования, при которой тоже производится кодирование сигнала, её называют *кодированием формы сигнала*.

Операция кодирования формы, т.е. форматирования аналоговых сигналов подробно изучается в курсе СД.08 «Цифровая обработка сигналов и сигнальные процессоры в средствах связи с подвижными объектами (ССсПО)». Кодирование источников подробно рассматривается в курсе СД.04 «Устройства преобразования и

обработки информации в ССсПО». Источники информации изучают в дисциплине специализации ДС.02 «Оконечные устройства систем связи».

Следующий этап обработки цифровых сигналов – *шифрование* (encryption). Оно производится для обеспечения секретной связи, предотвращает понимание сообщения несанкционированным пользователем и введение в систему ложных сообщений.

Для шифрования применяют различные приёмы. Для этого переставляют биты сигнала по случайному закону, добавляют новые сигналы и т.д. Вопросы шифрования будут изучаться в курсе ДС.04 «Средства обеспечения информационной безопасности в системах связи».

Зашифрованные сигналы затем подвергаются *канальному кодированию* (channel coding). Оно необходимо для повышения помехозащищённости сигнала, который передаётся по каналу связи и снижения числа ошибок (искажений) при его передаче из-за несовершенства канала.

Канальное, т.е. помехоустойчивое кодирование осуществляют путём введения в состав передаваемого сигнала избыточности, добавляя дополнительные (контрольные) биты (канальные символы), не несущие информации о передаваемом сообщении. Существуют различные методы помехоустойчивого кодирования. Например, добавляют в передаваемый сигнал такое число битов, чтобы число «нулей» и (или) «единиц» в сигнале было чётным. При приёме кодированного сигнала принятые биты считают и проверяют на чётность. Если в принятом сигнале число нужных бит нечётное, значит, произошла ошибка при его передаче и надо принимать меры – повторять заново искажённый фрагмент сообщения (как делают при факсимильной передаче) или не пропускать ошибочный фрагмент в оконечное устройство, или исправлять ошибки.

Канальное кодирование будет изучаться в курсе ДС.05 «Защита от помех в системах связи». Теория кодирования рассматривается в дисциплине СД.03 «Основы теории систем связи с подвижными объектами».

Следующая процедура – *уплотнение* (multiplexing) или *мультиплексирование* позволяет передавать по одной линии связи (или радиосвязи) несколько сигналов от разных независимых источников. Уплотнение достигается за счёт частотного, временного или кодового (логического) разделения сигналов в заданном радиостволе. В системах радиосвязи применяют также пространственное и поляризационное разделение сигналов с помощью антенн.

После кодирования, и если надо, шифрования и уплотнения, цифровой сигнал подвергают принципиально важной и неотъемлемой операции *модуляции*. Различают этапы *импульсной модуляции* и *полосовой модуляции*.

Назначение *импульсной модуляции* (pulse modulation) – согласовывать поступивший цифровой (поток битов) с особенностями и возможностями канала связи (передачи). Дело в том, что этот сигнал как некоторая хаотическая последовательность прямоугольных импульсов имеет слишком большую ширину спектра, гораздо большую ширины спектра передаваемых сообщений. К тому же амплитуды дополнительных гармонических колебаний, возникающих при выполнении оцифровки сигнала и последующих уже рассмотренных операций, оказываются

соразмерными с амплитудами исходных колебаний. Поэтому необходимо принять меры для снижения ширины спектра цифрового сигнала, чтобы получить *цифровой узкополосный сигнал* (base band signal), который уже можно передавать дальше для формирования полосовых радиосигналов с достаточно малой шириной спектра.

При импульсной модуляции для снижения ширины спектра применяют преобразование формы импульсов, например, их делают более гладкими, применяя узкополосные фильтры низких частот.

Подготовленный *узкополосный цифровой сигнал* или *модулирующий видеосигнал* необходимо преобразовать в *цифровой полосовой сигнал* (bandpass signal) или *цифровой радиосигнал*, способный передаваться по радиоканалу связи. Для этого применяют *полосовую модуляцию* (bandpass modulation). Суть полосовой модуляции – это перенесение спектра низкочастотного узкополосного модулирующего видеосигнала в область радиочастот. Это делают, изменяя с помощью модулирующего сигнала амплитуду, частоту или фазу исходящего «несущего» радиосигнала, в частности, гармонического высокочастотного колебания. Указанные приёмы называют амплитудной модуляцией (АМ), частотной модуляцией (ЧМ, FM) или фазовой модуляцией (ФМ, РМ).

Часто процессы импульсной и полосовой модуляции совмещают в одном устройстве – *модуляторе*.

Вопросы модуляции и устройство модуляторов рассматривают в курсе СД.01 «Устройства генерирования и формирования радиосигналов в системах подвижной радиосвязи».

При подготовке радиосигнала к передаче по каналу связи может оказаться необходимым его *расширение* по спектру частот или во времени (spreading). Дело в том, что в диапазонах частот, отведённых для подвижной радиосвязи, сигналы мобильных станций по ряду причин подвержены *замираниям* (fading), т.е. резким снижениям их уровня с течением времени. Это вызывается, например, тем, что в условиях города радиосигналы отражаются от зданий или поглощаются в них. При отражении от зданий сигналы интерферируют, что приводит к изменению их мощности в точке приёма с течением времени.

Известно, что при наличии замираний сигнал принять тем легче, чем он длиннее, либо чем больше ширина его спектра. Поэтому *расширение сигнала* – это *средство борьбы с замираниями*. Кроме того, оно помогает повысить помехозащищённость сигнала и обеспечить секретность передачи.

Получившийся импульсный радиосигнал перед его излучением через передающую антенну усиливают по мощности в радиопередатчике. Эта операция отражена на схеме как *передача*.

Остановимся на рассмотрении существенно важной и специфической для средств связи операции организации *множественного доступа* (multiply access) к линии радиосвязи групп передатчиков, формирующих различные независимые радиосигналы.

Отметим, во первых, что организация множественного доступа похожа на операцию уплотнения сигнала, только при множественном доступе объединяют не

несколько видеосигналов одного передатчика, а несколько радиосигналов различных передатчиков. При реализации множественного доступа применяют известные вам способы частотного, временного и кодового разделения каналов. Соответствующие им варианты множественного доступа называют и обозначают как:

FDMA (frequency division multiply access) – множественный доступ с частотным разделением каналов;

TDMA (time division multiply access) – множественный доступ с временным разделением каналов;

CDMA (code division multiply access) – множественный доступ с кодовым разделением каналов;

Организация множественного доступа рассматривается в дисциплине СД.03 «Основы теории систем связи с подвижными объектами» и других специальных дисциплинах.

Излучаемые радиопередатчиком и передающей антенной сигналы распространяются по радиолинии связи и через приёмную антенну попадают на вход одного из радиоприёмников. Процесс распространения радиоволн, излучение их передающими антеннами и приём через приёмные антенны изучается в курсе СД.07 «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства систем связи с подвижными объектами».

Принятый радиосигнал выделяется из других сигналов и помех и усиливается в приёмнике. Это – *приём* радиосигнала. Последующие преобразования, происходящие в приёмнике, во многом обратны тем, что делаются при формировании сигнала в передатчике. Это подчёркивается их названиями. Например, операция *сужения спектра*, необходимая для возврата к исходному радиосигналу, сформированному модулятором.

Затем производится *демодуляция* выделенного радиосигнала, т.е. переход от полосового цифрового радиосигнала к узкополосному импульсному видеосигналу путём перемещения (транспонирования) спектра в область низких частот.

Вслед за демодуляцией производится *обнаружение сигнала* (detection) и, если это необходимо, его *выравнивание* (equalization). *Обнаружение* – это *принятие решения относительно значения каждого бита принятого сигнала в смеси с шумом и остаточными помехами*. Операция *выравнивания* (или эквалайзинг) применяется, чтобы отделить сигнал от его задержанных во времени копий, возникающих при многоуровневом распространении из-за переотражений в канале связи.

Все эти операции рассматриваются в курсе СД.02 «Устройства обработки и приёма радиосигналов в средствах связи с подвижными объектами».

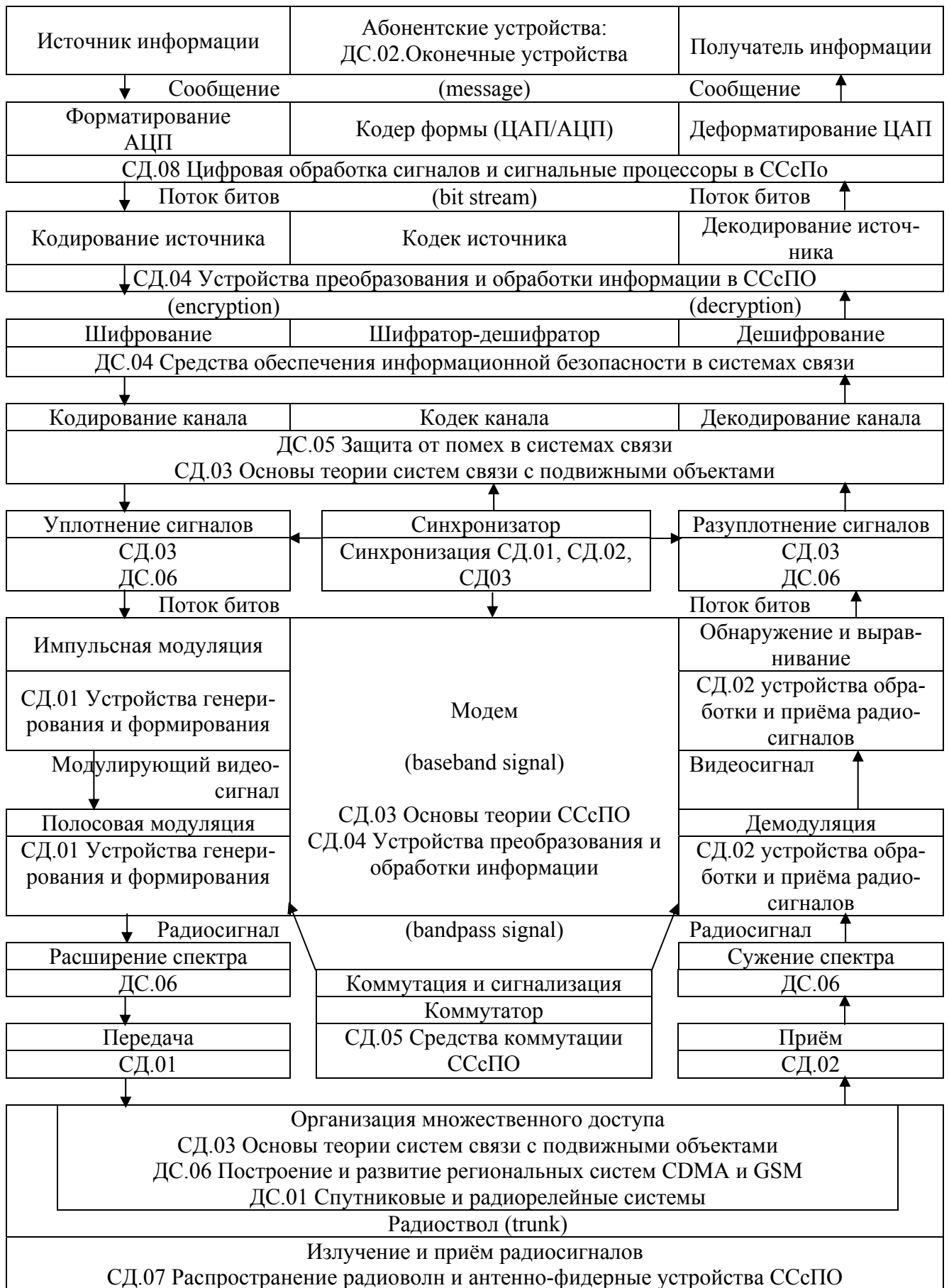


Рис.7.3. Функциональная схема цифровой системы радиосвязи

Необходимо отметить, что операции модуляции и демодуляции часто производят в одном устройстве, называемом модулятор-демодулятор или, сокращённо, *модем*.

Следующие операции – это опять операции, обратные выполняемым в передатчике и производимые в обратном порядке. Это *разуплотнение сигналов* (demultiplexing), *канальное декодирование*, *дешифрование*, *декодирование источника* и *переформатирование* цифрового сигнала в аналоговый.

Операции кодирования и декодирования, а также шифрования и дешифрования часто выполняют совмещёнными устройствами. Одно из них – это кодер-декодер или *кодек*. Если в составе кодека есть ещё частотный фильтр, то его называют *кофидек*.

В центре функциональной схемы рис. 7.3 указана операция *синхронизации*, которая принципиально необходима для согласования и обеспечения правильной работы при выполнении большинства перечисленных выше преобразований. Она изучается во всех специальных курсах.

Кроме того, отдельным функциональным блоком выделена операция *коммутации* и *сигнализации*, необходимая для обеспечения работы системы связи в радиосети. Эту операцию изучают в курсе СД.05 «Средства коммутации средств связи с подвижными объектами».

Блоки обработки сигналов, показанные на функциональной схеме рис. 7.3, представляют типичный состав системы цифровой связи. Впрочем, эти блоки иногда реализуются в несколько ином порядке. Например, уплотнение может происходить до канального кодирования или модуляции. Подобным образом блок расширения спектра может находиться в разных местах левого ряда схемы. Синхронизация и её ключевой элемент, синхронизирующий сигнал, задействованы на всех этапах обработки сигнала.

Заметим, что упоминавшиеся операции уплотнения сигналов и множественного доступа очень похожи. Обе они связаны с идеей совместного использования ресурсов. Основным отличием является то, что уплотнение реализуется локально, в пределах одного функционального устройства (печатной платы или блока устройства), а множественный доступ реализуется удалённо, между различными устройствами.

Среди перечисленных выше преобразований сигналов к числу обязательных (атрибутивных) операций относятся форматирование, импульсная модуляция, полосовая модуляция, передача и приём сигналов, демодуляция и дискретизация, обнаружение и деформатирование.

В заключение необходимо отметить, что в цифровой связи при описании цифровых сигналов кроме термина *поток битов* применяют также термины *символ* (symbol) или *цифровое сообщение* (digital message). Символ – это группа из k бит, рассматриваемых как единое целое.

Скорость передачи символов определяют в специальных единицах, называемых *бод* (baud).

ЛЕКЦИЯ 8

Системы и сети подвижной радиосвязи

Урок 1. Развитие и классификация систем подвижной радиосвязи

Средства подвижной радиосвязи имеют долгую историю. Они возникли наряду с другими системами беспроводной связи, такими, как радиовещание, телевидение и т.п. Уже в первые годы после изобретения первых радиоприёмников и радиопередатчиков А.С.Поповым и Г. Маркони радиостанции стали устанавливать на военных кораблях и даже, во время первой мировой войны, на автомобилях и телегах.

Первые радиостанции подвижной связи были очень дороги, требовали постоянного обслуживания, потребляли большую энергию, имели большие габариты и вес. Поэтому, а также в связи с выраженной общественной необходимостью, они входили в системы *профессиональной связи*, применяемой в вооружённых силах, в крупных компаниях и правительственных организациях.

Первое время среди применявшихся систем профессиональной подвижной связи преобладали средства *односторонней диспетчерской связи*, когда в радиосети имеется один передатчик и множество воспринимающих его сигналы приёмников. Соответствующие им связи называют *радиальными* или *зоновыми*.

Так, первой зафиксированной в истории системой подвижной связи стала сеть диспетчерской односторонней связи, созданная в 1921 году для полиции города Детройта, США. При этом приёмники располагались на автомашинах. Диапазон используемых частот – около 4 МГц (длина волны – 75 м).

Принципы построения первых систем и сетей подвижной радиосвязи в это время, по сути, не отличались от принципов, на которых развивались системы радиовещания. При этом для повышения ёмкости сети, т.е. для увеличения числа абонентов, стремились делать мощность передатчиков как можно больше, и устанавливать передатчики как можно выше - на высотных зданиях или вершинах гор.

Начиная с 1933 г. стали внедряться системы *двухсторонней профессиональной связи*. Первая из них была создана опять таки для полиции, только в данном случае нью-йоркской.

Первые же попытки применения сетей профессиональной двухсторонней связи, построенных по зонному принципу, выявили ряд серьёзных проблем.

Во-первых, для надёжной и качественной двухсторонней связи мощность передатчика центральной, *базовой станции зоны* и подвижных абонентских станций должна быть соизмеримой. Значит, у мобильных станций должны быть мощные передатчики и источники питания, к примеру, аккумуляторные батареи очень большой ёмкости. Ясно, что возить такие устройства оказывается довольно трудно.

При внедрении первых зонных систем профессиональной связи специалисты шутили, что они рассчитаны на два звонка. Первый звонок – сообщить жене, в ка-

ком часу ты явишься домой к обеду. Второй звонок – в сервисный центр, чтобы сказать, что сели аккумуляторы.

Во-вторых, существенной проблемой было наращивание абонентской ёмкости. В то время в многоканальных радиосистемах использовалось только частотное разделение каналов (ЧРК). При этом увеличение числа пользователей требовало пропорционального расширения частотного диапазона или снижения полосы частот, занимаемых каждым абонентом. И то, и другое даже в настоящее время представляет очень сложную задачу.

В-третьих, наращивание мощности передатчиков базовых станций и повышение чувствительности приёмников подвижных абонентских станций для решения первых двух проблем приводит к повышению уровня перекрёстных помех, создаваемых передатчиками различных зон (систем) для других средств радиосвязи.

Согласно известной формуле Введенского дальность радиосвязи на приземных и морских трассах возрастает пропорционально корню четвёртой степени от мощности передатчика. Поэтому увеличение дальности связи на десятки километров требует просто чудовищной мощности передатчиков. Такое можно позволить только при организации сетей радиовещания и телевидения, когда мощности передатчиков составляют десятки и сотни тысяч ватт.

Указанные проблемы существенно ограничивали диапазон возможного применения средств подвижной радиосвязи и затрудняли внедрение по настоящему массовых систем персональной радиосвязи общего пользования.

Исторически *первый путь решения проблем* зонной профессиональной связи и перехода к сетям персональной связи общего пользования заключался в возврате на более высоком уровне к принципам односторонней радиосвязи, когда не нужны передатчики у абонентов и не возникает особых требований к чувствительности мобильных приёмников. Стали разрабатываться и внедряться системы радиопоиска подвижных абонентов. Их стали называть *системами персонального радиовызова* (СПРВ) или *пейджинговыми системами*.

Создателем первой в мире системы персонального радиовызова стала британская фирма MULTI-TONE. Произошло это в 1956 году, когда в одной из больниц города Лондона была развернута система персонального радиопоиска. В её составе был передатчик, мощности которого хватало для обеспечения связи в пределах одного больничного корпуса. Каждый врач имел при себе небольшой приёмник. Когда какого-либо врача надо было найти или вызвать, с передатчика посылался индивидуальный сигнал, на который нужный приёмник отзывался «писком». Затем врач связывался с диспетчером больницы с ближайшего телефона и выяснял, зачем он нужен.

Кстати, англичане и назвали созданный карманный приёмник *пейджером*. Этот термин происходит от английского глагола *to page*, что означает «вызывать».

Первая в России сеть пейджинговой связи была закуплена у фирмы MULTI-TONE и развёрнута в городе Москве в 1979 году в рамках подготовки к Олимпийским играм 1980 г. Широкое внедрение пейджинговой связи началось только с осени 1993 г.

Пейджинговая связь имеет свои достоинства и недостатки. Первое достоинство – это самый дешёвый вид связи. Естественно, что главный недостаток – односторонность связи. Несмотря на него, средства пейджинговой связи стали первыми средствами персональной связи для населения.

Другой путь совершенствования сетей зонавой (радиальной) связи для повышения их абонентской ёмкости – это реализованный в конце 80-х годов принцип совместного использования частотных каналов, получивший название *транкинг*.

Дело в том, что первые радиостанции профессиональной связи занимали на всё время эксплуатации выделенный им один частотный канал, или ещё один – резервный. При этом фактическое время использования канала для радиопереговоров составляло ничтожно малую долю от всего времени работы станции. Соответственно, другие радиостанции одного и того же частотного диапазона не могли занимать «чужие» каналы. Поэтому абонентская ёмкость определялась как отношение выделенного диапазона частот к полосе частот, занимаемой каналом. При дуплексной связи она обычно составляет 12,5 кГц. Нетрудно убедиться в том, что это отношение – весьма малая величина – десятки или сотни абонентов, одновременно работающих «эфире».

В отличие от этих ранних радиостанций и использующих их сетей связи, называемых *конвенциональными*, в современных системах профессиональной связи применяется *принцип свободного доступа к выделенному множеству каналов*. Их (т.е. системы) называют *транкинговыми* (от английского слова trunk, что означает множество каналов, пучок, магистраль, шина или ствол). В этих системах конкретный канал закрепляется за отдельной радиостанцией только на время каждого сеанса связи. При окончании сеанса канал передаётся другим абонентам. При этом время использования каждого канала возрастает многократно, и число абонентов транкинговой связи возрастает на порядки по сравнению с конвенциональной связью. Их число уже может быть порядка тысяч или десятков тысяч.

В первых транкинговых системах каждая радиостанция вела поиск свободного канала самостоятельно, сканируя заданный пучок каналов. Такие системы, т.е. системы с поиском свободного канала индивидуально, стали называть *псевдо-транкинговыми*. Их недостаток – большое среднее время установления связи, что может быть для профессиональных средств связи недопустимым.

В более совершенных современных транкинговых системах для управления выбором свободного канала применяют специальные дополнительные каналы связи. Это системы с *выделенным каналом управления*.

Первая сеть радиотелефонной транкинговой связи под названием «Алтай» была создана в СССР в 1963 году. Первенство отечественных разработчиков этого вида связи перед зарубежными объясняется, во многом, особенностями существовавшего в СССР общественного строя, когда уделялось очень важное значение организации бесперебойной связи между органами государственного и централизованного производственного управления. Эта система оказалась чрезвычайно удачной, и она функционировала почти 40 лет. В связи с необходимостью перехода на новую элементную базу начиная с 1995 года при участии фирмы Nokia, система «Алтай» была модернизирована с сохранением основных принципов ра-

боты под названием «РусАлтай». Она действует в диапазоне 330 МГц (длина волны – 1 м).

За рубежом, в соответствии с так называемым «проектом 16», американской фирмой Моторола была создана первая сеть транкинговой связи для служб общественной безопасности только в 1979 году.

Ещё один путь для существенного увеличения ёмкости сети, и для устранения всех перечисленных недостатков и создания беспроводных сетей общего пользования – это *переход от зонных сетей к сотовым сетям*.

В сети сотовой связи вся покрываемая территория разбивается на множество небольших участков – *соты* (cells). В каждой соте имеется своя *базовая приёмно-передающая станция*, связанная линиями связи со станциями других сот. В смежных сотах во избежание взаимных помех связь идёт по различным каналам, но в отдалённых сотах можно вести связь на одной и той же частоте. При этом не нужно мощных передатчиков и особо чувствительных приёмников абонентских станций. Кроме того, при использовании сотовой связи стало возможным применять для связи радиоволны УКВ диапазона. При этом недостаток этих радиоволн – распространение на малое расстояние, в пределах прямой видимости, обратился в преимущество – малый уровень помех между сотами.

Урок 2. Особенности построения и функционирования систем сотовой связи

Концепция сотовой связи была представлена американской корпорацией Bell Laboratories ещё в 1947 году. Однако внедрению её мешали трудности схемотехнической и технологической реализации. Первые системы сотовой связи были запущены в скандинавских странах и Саудовской Аравии в конце 70-х годов. В настоящее время это самый распространённый вид мобильной связи. В 2002 году число абонентов сотовой связи превзошло рубеж в 1 миллиард.

Сотовые системы мобильной связи – это один из современных вариантов расширения телефонных сетей общего пользования с применением радиолиний. Основная цель создания этих систем – обеспечение телефонной связью как можно большего числа индивидуальных мобильных пользователей.

Концепция сотовой связи основана на трёх основных *принципах функционирования*:

- 1) деление обслуживаемой территории на соты (cells);
- 2) повторное использование каналов (channel reuse);
- 3) способ организации связи – дуплекс.

Вся зона обслуживания системы разбивается в пространстве на элементарные зоны, ячейки или соты. Каждая из сот является зонной системой. Она имеет в своём центре полностью автоматизированное приёмно-передающее устройство, называемое *базовой станцией*. Базовая станция обеспечивает двустороннюю связь с подвижными абонентами, находящимися в ячейке. В базовой станции имеется, кроме приёмника и передатчика, устройство управления выбором канала и устройство, измеряющее уровень сигналов, принимаемых от мобильных аб-

нентов. В соответствии с этим уровнем регулируется мощность передатчика базовой станции или (и) принимается решение о переходе к работе с другой станцией.

Каждая базовая станция соединена с *центром коммутации подвижной сети (центральной сотовой станцией)*, обеспечивающей связь с коммутируемой проводной телефонной сетью общего пользования (ТФОП), а также с другими базовыми станциями. *Подвижные абоненты* сотовой сети связываются только с ближайшей базовой станцией.

При сотовой организации сети на обслуживаемом пространстве создаётся множество взаимосвязанных радиостанций с относительно небольшими мощностями передатчиков, что позволяет делать применяемую аппаратуру весьма компактной и не дорогой. Особенно это важно для абонентских устройств мобильных абонентов (мобильных радиотелефонов).

Упрощённая структура сети приведена на рис. 8.1.

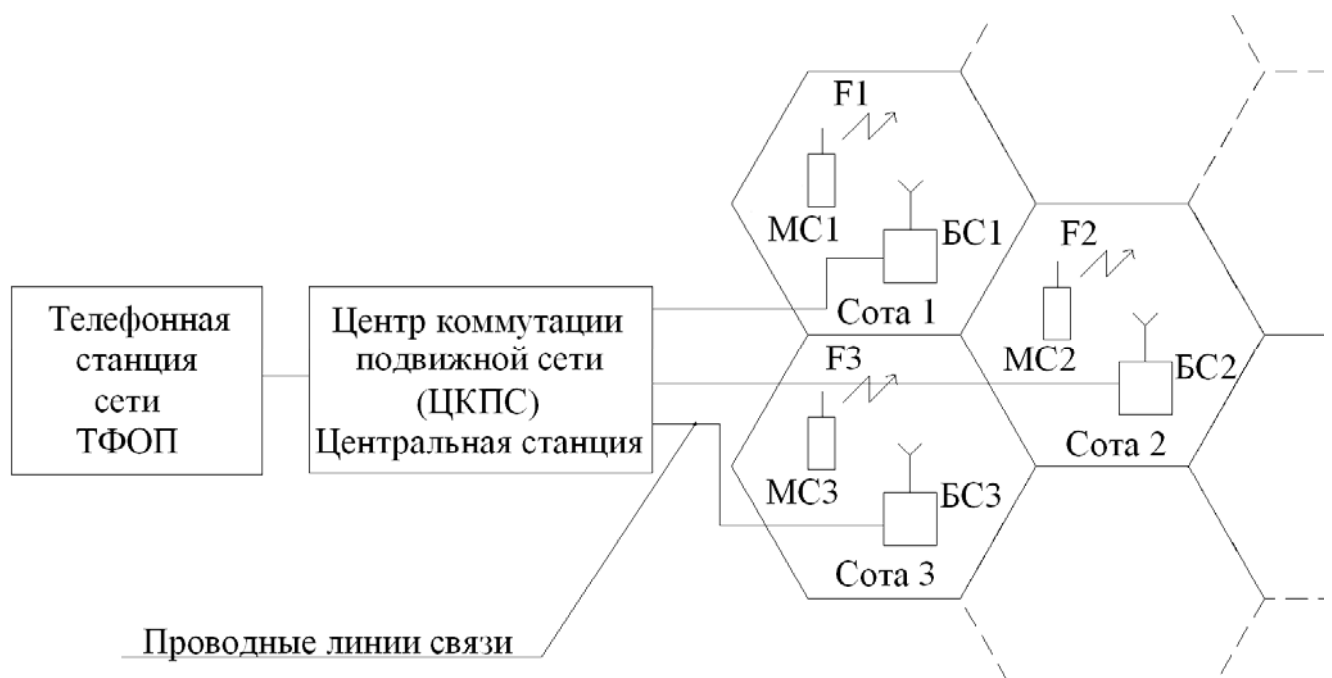


Рис. 8.1 Структура сотовой сети

На структурной схеме рис. 8.1 выделены три ячейки (соты) с базовыми станциями BC1, BC2 и BC3. Отмечено также по одному абоненту с мобильными станциями MC1, MC2 и MC3.

Каждой базовой станции предоставляется набор каналов, например частотных или временных (физических). *Ограничимся вариантом частотного разделения каналов (ЧРК)*. Каждый из каналов обеспечивает один двусторонний телефонный разговор.

Для снижения уровня взаимных помех центр коммутации выделяет для разговоров в соседних ячейках различные каналы. Так, для рассматриваемой структуры рис. 8.1, если текущий разговор мобильного абонента MC1 в первой соте идёт

в частотном канале F1, то разговоры абонентов остальных ячеек идут в каналах F2 и F3.

При относительно невысоких выходных мощностях передатчиков базовых станций и выборе радиоканалов в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) мобильные абоненты обеспечиваются надёжной связью в пределах «своей» соты. Уровень сигнала от базовых станций, и, тем более, от передатчиков мобильных станций, в других, соседних сотах весьма мал и не может быть помехой для работы абонентов этих сот. Это позволяет повторно использовать одинаковые каналы связи в несмежных сотах, что приводит к более рациональному использованию и повышению загрузки весьма ограниченного числа выделяемых каналов.

Рассмотрим применение принципа повторного использования каналов в случае, когда в системе из девяти сот разрешено вести разговоры только в трёх частотных каналах F1, F2 и F3. Тогда распределение каналов между сотами рационально выполнить в соответствии с пространственной диаграммой, изображённой на рис. 8.2.

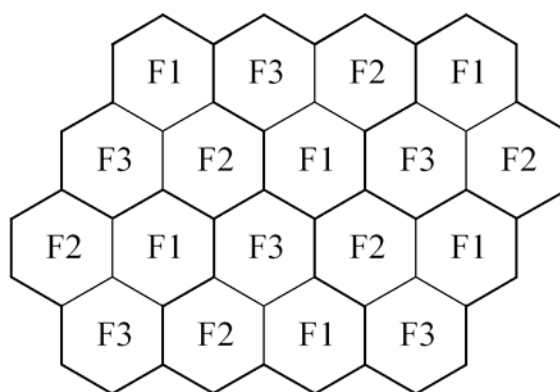


Рис. 8.2. Повторное использование каналов

Группу соседних сот с одинаковыми наборами каналов (частот) называют *кластером* – это объединение сот с неповторяющимися каналами. Как видно из диаграммы рис. 8.2, сеть из восемнадцати сот с тремя частотными каналами разбита на шесть кластеров.

Определяющим параметром кластера является его *размерность*, т.е. число используемых каналов. Для нашего примера размерность кластеров равна трём. На практике применяют кластеры с размерностями от трёх до пятнадцати.

При делении сотовой сети на кластеры имеется множество базовых станций, работающих на одном канале и не создающих помех друг другу. Это возможно из-за того, что расстояние между соседними станциями, работающими на одном канале, выбирается достаточно большим, исходя из условий распространения радиоволн по ячейкам. Это минимально допустимое расстояние называют *защитным интервалом* и обозначают как D . Для нашего примера все защитные интервалы одинаковы. Защитный интервал между станциями, работающими на одном канале – это расстояние между центрами наиболее близких ячеек этого канала.

Для простоты расчётов ячейки обычно считают правильными шестиугольниками, как ячейки в пчелиных сотах, что и определяет один из вариантов их названия.

Произведя необходимые графические построения и расчёты, нетрудно получить связь между заданным значением защитного интервала D , радиусом шестиугольных ячеек R и необходимым числом каналов – размерностью кластера N , а именно

$$D = R\sqrt{3N}.$$

Значит, при $N = 3$ радиус ячеек $R = D/3$. При $N = 12$ радиус $R = D/6$. Значит при увеличении размерности кластеров уровень одноканальных (соканальных) помех снижается. При $D = \text{const}$ ёмкость сети растёт с числом N , т.к. в одной зоне помещается всё больше ячеек.

Рассмотрим процесс функционирования сотовой системы радиосвязи.

Для посылки вызова мобильный абонент, находится в одной из ячеек зоны обслуживания, набирает номер другого абонента. При этом радиостанция абонента (т.е. сотовый радиотелефон) начинает поиск имеющегося свободного канала. По первому найденному свободному каналу, который обнаружит абонентская станция, осуществляется процедура вхождения в связь, после чего набранный абонентом номер передаётся на центральную станцию сети (центр коммутации). Центральная станция по этому номеру находит базовую станцию вызываемого абонента или маршрут в телефонной сети общего пользования (ТФОП). После этого подвижный абонент слышит сигнал готовности.

Вызов может поступить также из телефонной сети общего пользования. При этом центральная станция сети по принятому номеру проверяет наличие вызываемого абонента в зоне обслуживания и правильность номера.

Если вызываемый абонент присутствует в зоне и его номер набран правильно, центральная станция передаёт вызов для всех базовых станций в зоне обслуживания.

Если вызываемый подвижный абонент свободен, его абонентская станция автоматически закрепляется за каналом вызова в одной из ячеек и, таким образом, становится готовой к приёму вызова. При получении вызова найденная абонентская станция автоматически передаёт подтверждение о готовности к сеансу связи. С его помощью определяется местоположение абонентской станции относительно действующей базовой станции.

Затем центральная станция выбирает имеющийся в ячейке приёмной станции свободный канал передачи и передаёт номер этого канала на приёмную станцию. Приняв номер, абонентская станция автоматически переключается на свободный канал и начинается сеанс связи.

Во время разговора абонент обычно перемещается в зоне обслуживания, отчего условия прохождения радиосигналов сильно и быстро изменяются. Поэтому базовая станция постоянно ведёт контроль уровня сигнала и при приближении абонента к границе соты может принять решение о необходимости передачи обслуживания на другую базовую станцию, при передаче через которую сигнал сильнее. Это так называемая процедура *переброса вызова*. Она незаметна для

абонента, т.к. при этом разговор не прерывается. То же происходит, если абонент при передвижении переходит из одной ячейки сети в другую. При этом используется процедура передачи вызова от одной базовой станции к другой. Её называют *эстафетной передачей* или *хэндовером* (handover или handoff).

Если абонент перемещается из одной сотовой сети в другую, а эти сети связаны специальными каналами и совместимы друг с другом, то абонент может воспользоваться услугой *роуминга* (от английского глагола *to roam* – скитаться, блуждать).

В настоящее время в России действуют сети и системы сотовой радиотелефонной связи двух поколений.

Первое поколение – это сети с обработкой аналоговых сигналов различных стандартов. Наиболее распространены сети стандарта NMT-450, который принят в качестве федерального. (NMT – это Nordic Mobile Telephone, стандарт разработанный скандинавскими странами. «450» - означает диапазон 450 МГц). Первая система этого стандарта в России – «Московская сотовая связь» (МСС), созданная в 1991 году. В настоящее время такие сети сворачиваются.

Более современные – сети второго поколения стандартов GSM и CDMAone. Они обрабатывают цифровые сигналы. Сети стандарта GSM работают в диапазоне 900 МГц и 1800 МГц, используя множественный доступ с частотным и временным разделением каналов. Поэтому ёмкость таких сетей больше, чем у сетей NMT-450.

Наибольшей потенциальной ёмкостью обладают сети стандарта CDMAone, применяющие кодовое разделение каналов. Они обладают наилучшей помехозащищённостью и защитой от прослушивания разговоров, но имеют крупный недостаток. При высоких скоростях движения абонентов (например на автомобиле) нарушается синхронизация сети и разговор может прерваться. Это ограничивает применение данных сетей.

ЛЕКЦИЯ 9

Системы транкинговой связи и системы персонального радиовызова

Урок 1. Транкинговые системы и сети радиосвязи

Как уже отмечалось при классификации систем подвижной радиосвязи, *транкинг* – это организация свободного доступа большого числа абонентов к ограниченному числу каналов. При этом учитывается, что во всякий момент времени не

все абоненты сети активны, и необходимое число каналов оказывается значительно меньшим общего числа абонентов. Известно, например, что для обеспечения безотказной связи между 320 абонентами достаточно 6 каналов, а для 2160 абонентов нужно 25 каналов. При этом отношение числа абонентов к требуемому числу каналов связи растет с числом каналов.

Принцип транкинговой связи не нов. Мы все используем его при проведении разговоров по проводной телефонной сети общего пользования. Мы только указываем адрес абонента, набирая его номер, а линию передачи сигналов и канал выбирает АТС. При окончании нашего разговора АТС освобождает ранее занятый канал для других пользователей. Так же и транкинговые системы радиосвязи динамически распределяют каналы между всеми абонентами системы, позволяя более плотно и более равномерно загружать каналы.

Итак, транкинг – это еще один способ повышения числа абонентов при ограниченном числе каналов, как и сотовая связь [7,11]. Если сотовая связь – это путь повышения емкости радиосетей общего пользования при обеспечении связи между *равноправными индивидуальными абонентами*, то транкинг решает эти задачи для специфических условий и требований к *профессиональной* или *корпоративной* связи. Эти требования следующие:

- время установления связи должно быть минимальным и не превышать десятых долей секунды;
- возможность установления связи между группами абонентов и селекторной связи;
- возможность установки приоритетов в порядке установления связи различных групп абонентов;
- обеспечение непосредственной связи между абонентами одной зоны без участия базовой станции;
- значительная дальность радиосвязи с большими зонами покрытия;
- минимальная стоимость трафика и оборудования сети, и т.п.

Все это нужно для решения задач оперативного, административного, производственного и технологического управления. Это осознали многие компании и организации на Западе, где рынок транкинговой связи успешно развивается. Так, только в Европе к 2010 году, по прогнозам экспертов, число пользователей только одного стандарта TERRA может превысить 10 миллионов.

Учет перечисленных требований к профессиональной связи приводит к определенным особенностям в организации структуры и функционировании систем транкинговой связи. Перечислим эти особенности.

Сети транкинговой связи строят как по радиальному (однозоновому), так и сотовому (многозоновому) принципам. Для систем сотовой связи многозональная структура – это главный и неотъемлемый, атрибутивный признак, благодаря которому наращивают емкость системы. При этом увеличения емкости системы на заданной территории (зоне обслуживания) добиваются снижением размеров сот и ростом числа базовых станций. Для транкинговых систем переход от радиальной структуры сети к многозональной делается для увеличения площади покрытия. Раз-

меры ячеек стремятся делать как можно большими. Задача увеличения числа абонентов перед транкинговыми системами, как правило, не ставится.

В сетях транкинговой связи их абоненты могут связываться друг с другом непосредственно, без участия базовых станций или центра коммутации. Однако, если они далеки друг от друга, а условия передачи радиосигналов неважные, организуется связь между абонентами через базовые станции, содержащие *ретрансляторы* сигналов.

С целью упрощения применяемого оборудования и снижения его стоимости в транкинговой связи применяют *симплексный* или *полудуплексный* способы организации каналов.

В ранних простых системах с малым числом абонентов (до 300) применялись симплексные радиосети. При больших расстояниях между абонентами в них применяются специальные ретрансляторы, называемые *эхо-репитерами* или *симплексорами*.

Принцип действия эхо-репитера состоит в следующем. Сигнал, принятый от подвижной радиостанции, записывается в память репитера. Затем, когда абонент заканчивает передачу, репитер повторно воспроизводит принятый сигнал в эфир для принимающего абонента.

Симплексный способ организации радиосвязи наиболее прост и дешев. Однако он имеет *крупные недостатки*, ограничивающие его применение.

Во-первых, симплексный ретранслятор ведет передачу и прием сигналов в одном канале, как правило, частотном. При этом очень трудно оградить приемник ретранслятора от приема излучаемого этим же ретранслятором сигнала, что может привести к повторной многократной ретрансляции или даже потере работоспособности, неустойчивости в работе сети.

Во-вторых, при работе симплексных ретрансляторов возможен следующий неприятный эффект. Если вызываемый объект находится недалеко от вызывающего, то вызываемый абонент получает сигналы от вызывающего двумя путями. Сначала проходит сигнал напрямую от вызывающего объекта, а затем с задержкой поступает сигнал с тем же сообщением от ретранслятора. Только после этого вызванный абонент может отвечать. Затем он вынужден будет прослушать повтор своего ответа ретранслятором и опять дважды выслушать новое сообщение от своего собеседника.

Симплексный способ связи вдвое сокращает темп радиосвязи и делает ее неудобной. Лучше полудуплексная организация каналов связи.

Полудуплекс (half-duplex) или *двухканальный симплекс* – способ организации каналов, при котором сообщения или данные могут передаваться в обоих направлениях, но в каждый момент времени только в одну сторону.

При полудуплексной организации каналов транкинговой связи для обеспечения двусторонней связи применяют два канала. Один из каналов применяют для передачи сигнала от подвижной станции к ретранслятору, а другой – для передачи в обратном направлении. При этом подвижные радиостанции по-прежнему эксплуатируются в режиме симплекса, а ретранслятор работает в дуплексном режиме.

Поясним полудуплексный принцип организации с помощью схемы связи двух радиостанций через один ретранслятор (рис. 9.1). Примем, что каналы – частотные, с частотами F_H и F_B .

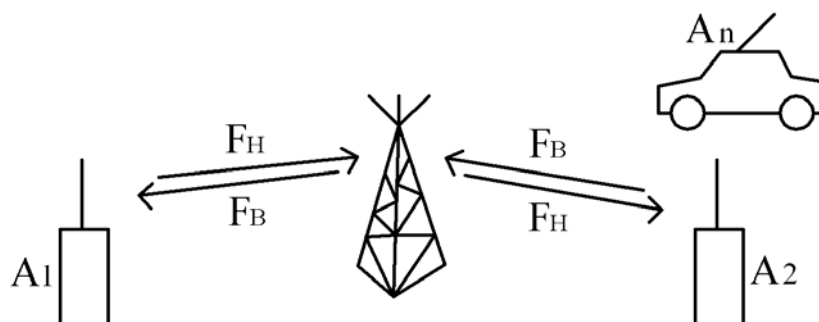


Рис. 9.1. Полудуплексная организация связи

Как видно из схемы (рис. 9.1) частота сигнала, излучаемого ретранслятором, всегда отличается от частоты принимаемого им сигнала. За счет этого облегчается развязка между выходом передатчика ретранслятора и его приемником. Скорость передачи разговора возрастает вдвое по сравнению с вариантом эхо-репитера.

При полудуплексной связи несколько усложняются ретрансляторы, но зато множество конечных устройств – подвижных радиостанции остаются симплексными, т.е. наиболее простыми и дешевыми.

Заметим еще одну особенность транкинговой радиосвязи. Как известно, при сотовой связи неуклонно соблюдается принцип повторного использования каналов. Такой принцип может использоваться и в транкинговой связи. Однако, для обеспечения диспетчерской связи с группой абонентов, находящихся в разных зонах, при передаче сигналов от диспетчера (или руководителя) во всех ячейках используется один канал для всех принимающих сообщение абонентов.

Чтобы объяснить, как удовлетворяются требования к организации групповых вызовов, приоритетов в обслуживании, ускоренного или аварийного режима соединений абонентов, обратимся к рассмотрению структурной схемы типовой транкинговой сети (рис. 9.2). Пусть, для простоты, она *однозонавая (радиальная)*.

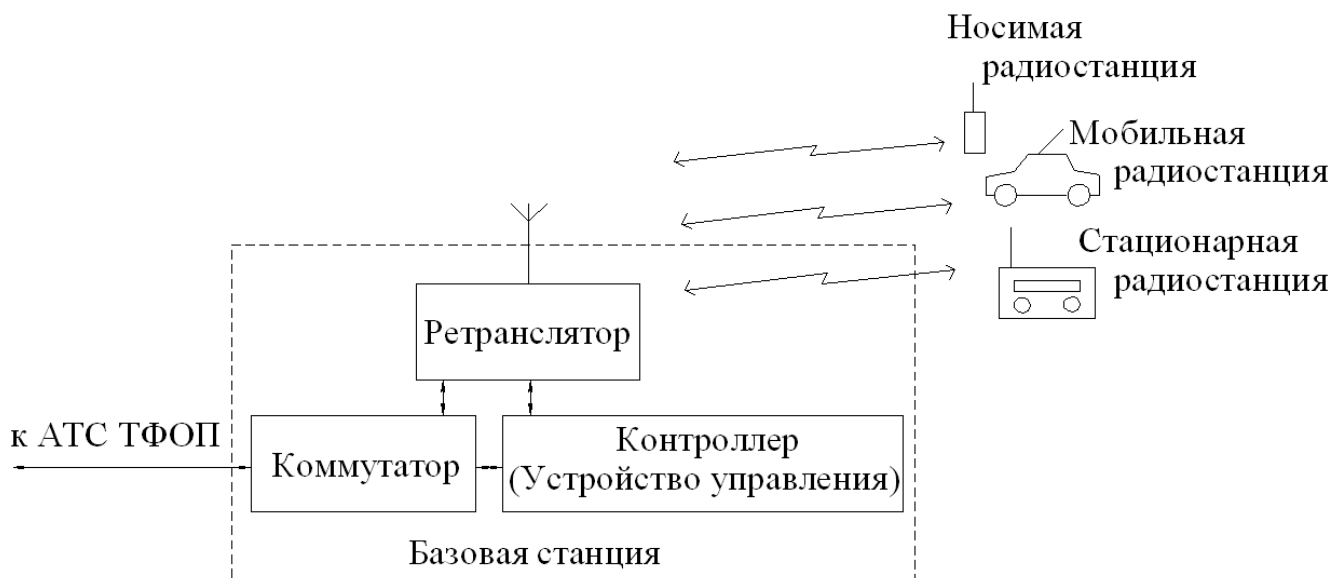


Рис. 9.2. Структурная схема транкинговой связи

Как уже отмечалось, в составе базовой станции сети имеются один или несколько *ретрансляторов*, как правило, дуплексных. *Коммутатор* осуществляет соединение подвижных абонентов по их адресным сигналам, а также соединяет избранную группу абонентов с проводной телефонной линией общего пользования.

Важная особенность базовых станций транкинговых сетей – наличие *устройства управления* или *контроллера*, который кроме обеспечения взаимодействия коммутатора и ретранслятора, решает ряд специфических задач: организует индивидуальные, групповые, вещательные, приоритетные, аварийные и другие вызовы; выбирает способ связи через ретранслятор или непосредственно между подвижными радиостанциями и т.п.

За счет более простой структуры сети связи, меньшего числа элементов сети, участвующих в процессе передачи и обработки сигнала и децентрализации процесса установления вызовов (по сравнению с сотовыми сетями, где все делает коммутатор сети – центральная станция) время установления вызова в транкинговой сети минимально и составляет доли секунды. В сотовых сетях, где управление зацентрализовано, как вам известно, это время может быть сколь угодно большим.

Современное состояние транкинговой связи в России таково. До настоящего времени преобладают системы аналоговых стандартов. Так, усовершенствованная отечественная система «РусАлтай», разработанная при участии фирмы Nokia, работает в диапазоне 330 МГц по стандарту MPT 1327. Этот стандарт разработан в Великобритании в 1985г. (MPT – Ministry of Post and Telecommunication) и принят как европейский. Он рекомендован Министерством связи РФ для многозоновых систем с емкостью до 1 млн абонентов. Это самый распространенный стандарт в мире.

В последнее время внедряют системы цифровых стандартов APCO 25 и TETRA. Система ASTRO фирмы Motorola построена по стандарту APCO 25. Стандарт APCO 25 (Association of Public-Safety Communications Officials) разработан фирмой Motorola и утвержден Международным союзом связи в 1995г. Он хорош тем, что совместим с аналоговыми и может включать в себя отечественные системы, такие как «Алтай» или «Валдай».

Министерство связи РФ внедряет как общедоиндеральный стандарт TETRA (Terrestrial Trunked Radio), который имеет статус европейского и может стать всемирным. Он рассчитан на взаимодействие с системами сотовой связи стандарта GSM. Пока известный пример внедрения – Санкт-Петербургский метрополитен.

Урок 2. Сети и системы персонального радиовызова

Система персонального радиовызова (СПРВ) или система пейджинговой связи (paging) – это один из видов радиотелеграфной связи, отличающийся односторонней передачей символьных (кодовых) сообщений в зоне обслуживания [4, 7, 12].

Обоснованием необходимости и одной из причин возникновения пейджинговой связи является утверждение, что в большинстве случаев, когда нужно передать информацию, нет необходимости организовывать сеанс двусторонней телефонной связи. Достаточно передать в сторону вызываемого абонента несколько символов или даже один заранее обусловленный символ.

Для решения столь простой задачи нужно иметь только один радиопередатчик телеграфной связи и множество связанных с ним простейших приемников, регистрируемых символьные сообщения.

Передатчик радиотелеграфных сигналов, а также их приемники и регистраторы, называемые пейджерами, это самые простые из всех известных устройств радиосвязи и, поэтому, самые дешевые и надежные. Вследствие простоты излучаемых сигналов в заданном диапазоне можно разместить гораздо больше каналов пейджинговой связи, чем число каналов радиотелефонной связи – транкинговой или сотовой. Абонентская станция мобильных абонентов, т.е. пейджера, не имеет передатчика. Так как при приеме кодового сообщения ставится только самая простая и наиболее просто реализуемая технически задача обнаружения сигналов, чувствительность и избирательность пейджеров можно допустить меньшими, чем для других видов радиосвязи. Это позволяет экономить ресурс источников питания, снижает уровень взаимных помех и позволяет держать при себе источник электромагнитного излучения, не опасаясь за свое здоровье.

Все перечисленные факторы делают пейджинговую связь привлекательной для тех потенциальных абонентов, которым не нужно немедленно реагировать на принятые сообщения. Это важно и для водителей автотранспорта, и для бизнесменов, которым нужно время и изучение документов для принятия решений, и для «простых» пользователей, чтобы решить, отвечать вызывающему абоненту или нет.

Принцип и типовую организацию системы пейджинговой связи отразим простой структурной схемой (рис. 9.3)

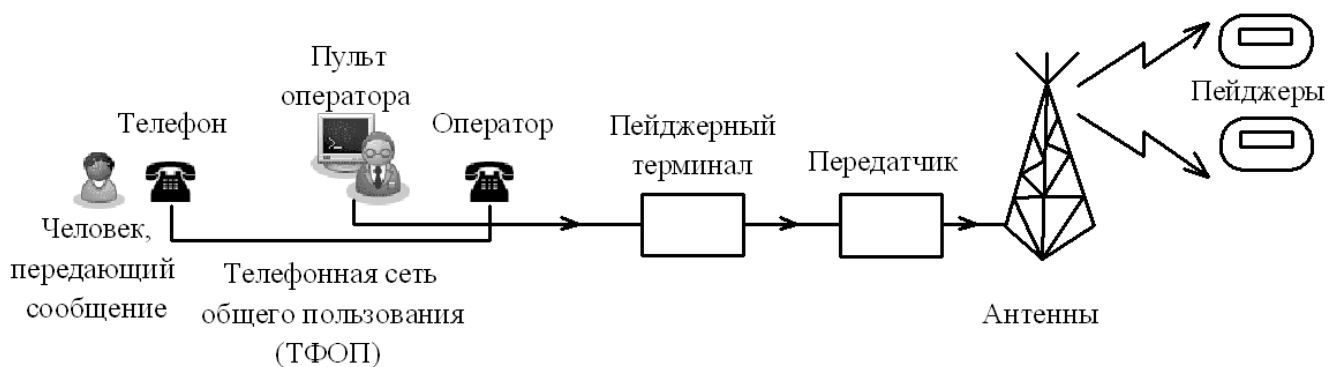


Рис. 9.3. Структурная схема пейджинговой связи

Как видно из схемы рис. 9.3, человек, которому нужно передать сообщение абоненту сети пейджерной связи, связывается по телефону сети общего пользования с оператором пейджинговой связи. Оператор принимает и регистрирует сообщение, узнает адрес, по которому нужно его передать, желательное время передачи и т.п. Полученные сведения передаются в виде электрических сигналов на пейджерный терминал.

Пейджерный терминал – это основной блок пейджерной системы. Из полученного сообщения и адреса он *в соответствии с принятым протоколом* создает специальный кодированный сигнал, соответствующий заданному стандартизованному формату. Этот сигнал в *передатчике* преобразуется в радиосигнал (т.е. модулируется), усиливается и излучается передающей антенной.

Здесь приведена простейшая и исторически первая структура пейджинговой системы. В настоящее время применяют более развитые структуры, дающие абонентам большее число услуг.

Во-первых, сообщение можно передать не только по телефону сети ТФОП, но и по радиотелефону. Можно передать телеграмму через *факс* или *электронное письмо*, набранное на компьютере. Кроме того, абонент может передать без участия оператора стандартные текстовые сообщения. При этом передает на пейджинговый терминал заранее оговоренный цифровой код. По принятию этого кода терминал передает на передатчик один из заранее заготовленных сигналов.

В современных системах персонального вызова есть также служба роуминга. При этом под *роумингом* понимается передача сообщений в другую (или несколько других) сеть пейджерной связи.

Сети пейджерной связи делят на *локальные* (ведомственные), *городские общего пользования* и *региональные*.

Локальные пейджинговые сети обеспечивают передачу внутри отдельных зданий и на ограниченных прилегающих территориях в интересах отдельных групп пользователей. Их применяют в гостиницах, больницах, аэропортов и т.п. Они

помогают быстро найти нужного сотрудника и оперативно передать ему сообщение.

В городских сетях общего пользования передача сообщений идет с применением ТФОП. Они имеют большую зону обслуживания (десятки километров) и число абонентов (несколько тысяч). Сообщения принимаются операторами по телефону и вводятся с помощью персональных компьютеров, связанных между собой локальной сетью. Специальное программное обеспечение служит для передачи сообщений на пейджинговый терминал и далее - на передатчик.

Городские и локальные пейджинговые сети – однозоновые (радиальные) с одним передатчиком.

Региональные пейджинговые сети являются многозоновыми (или сотовыми) с передатчиком в каждой ячейке. Для устранения «мертвых зон» в зоне обслуживания ячейки системы делают перекрывающимися. Поэтому в пределах одной ячейки пейджер может принимать сообщение от нескольких передатчиков. При этом возникает проблема интерференции сигналов от многих источников, приводящих к замираниям принимаемых сигналов.

Для борьбы с интерференцией в многозоновых пейджинговых системах применяют либо *временное разделение пакетов* передаваемых сигналов, либо *режим simulcast*. Это одновременное синхронное излучение сигнала группой передатчиков.

В настоящее время в России нашли широкое применение системы персонального радиовызова *PAGENET* и *NUKLON*. Они предназначены для организации крупных узлов пейджинговой связи. Время их создания – 1995–1996 годы. Число операторов системы *PAGENET* – до 50, а число абонентов – до 20 тысяч. У системы *NUKLON* при числе операторов до 500 может обслуживаться до 100 тысяч абонентов. Передаются сообщения до 2000 сигналов.

Для того, чтобы пейджер мог принимать передаваемые ему сообщения, необходимо передать их в определенном формате, называемом *пейджинговым протоколом*. Это своеобразный язык, набор правил, который организует последовательность сигналов сети. Им определяется скорость передачи информации, процедура переадресации и синхронизации сигналов, признаки целостности передаваемых данных, в том числе момент начала сообщения и т.п.

В подавляющем большинстве систем до настоящего времени применяется *протокол POCSAG* (Post Office Code Standartisation Advisory Group), разработанный Британским почтовым ведомством и примененный фирмой Motorola. Он утвержден как международный стандарт в 1982 г. Из 23 действующих в Москве пейджинговых компаний 22 используют этот протокол.

Стандарт *POCSAG* позволяет поддерживать до 2 млн пейджеров и передавать сообщения со скоростью 512, 1200 и 2400 бит/с в диапазонах 146 – 174 МГц (метровых) и 403 – 470 МГц (дециметровый). Эти скорости для современных требований слишком малы. Поэтому разработали и стали применять высокоскоростные протоколы *ERMES* и *FLEX*.

Протокол ERMES (European Radio Messaging System) принят как международный стандарт в 1994г. При нем скорость передачи до 6400 бит/с. Сети стандарта

ERMES совместимы с сетями POCSAG и могут быть связаны не только с сетями ТФОП, но и с сетями передачи данных, цифровыми сетями с интеграцией услуг ISDN, телексными сетями и сетями подвижной радиотелефонной связи.

Протокол ERMES, так же как и POCSAG, является *асинхронным*. Это означает, что сигнал может придти на пейджер в любой момент времени. Это заставляет применять в пейджерах дежурный режим – постоянно держать включенным приемник, что повышает потребление энергии источника питания. Для преодоления этого недостатка разработан *синхронный протокол FLEX* (Flexible Wide-Area Protocol – Гибкий протокол широкого применения). При таком протоколе сообщения передаются, начиная со строго заданных моментов времени. Это позволяет включать пейджеры на относительно короткое время, экономя источники питания. Протокол FLEX разработан в 1993 г. специалистами фирмы Motorola. Максимальная скорость передачи по нему такая же, как для протокола ERMES.

Полномасштабная система FLEX реализована в г. Самаре. Ряд компаний Челябинска входят в федеральную сеть «Атлас» формата ERMES.

Общим недостатком пейджинговой связи является невозможность гарантировать факт доставки сообщения или невозможность проверить, получено ли сообщение абонентом. Чтобы преодолеть этот недостаток, стали разрабатывать сети двусторонней телеграфной связи. Оконечные устройства этих систем стали называть *двусторонними пейджерами* (two-way pager) или, сокращенно, *твейджерами*.

Под *двусторонним пейджингом* понимают вид пейджинговой связи, в котором предусмотрена, в дополнение к обычной функции приема сообщений, посылка (передача) сообщений пейджера на специальную сеть приемных станций.

При передаче сообщений на пейджер (в прямом канале передачи) применяют традиционные пейджинговые протоколы и системы передачи.

При передаче в обратном канале (т.е. с пейджера на приемную станцию) используют, как правило, дополнительную автономную инфраструктуру приема с отдельными антеннами и приемниками. С пейджера передают *короткие сообщения SMS* (Short Message Service), как правило, заранее запрограммированные или закодированные.

Благодаря разработке новых стандартов и систем двустороннего пейджинга интерес и потребность в пейджинговой связи опять стали возрастать. Нашлись и новые сферы применения пейджинга в корпоративной связи, в системах пожарной и охранной сигнализации, противоугонных системах транспортных средств, в системах телеизмерений и сбора данных и т.п.

Новую жизнь в развитие пейджинга вдохнула разработка спутниковых пейджерных глобальных сетей связи. Первая система одностороннего персонального вызова SkyTel разработана в 1995 г. Она входит в спутниковую сеть *Inmarsat-D*.

ЛЕКЦИЯ 10

Телефония и компьютер

Урок 1. Компьютерная телефония

Персональный компьютер и телефон стали неотъемлемой частью рабочего места современного делового человека. С развитием информационных технологий и телефонной индустрии стало неизбежным их взаимодействие в деле объединения функций компьютера и телефонного аппарата [4,14,15].

Развитие и взаимодействие телефонных систем и компьютерных сетей к настоящему времени находится на третьем этапе. Этапы взаимодействия следующие:

1) Вначале телефонные системы и компьютерные сети развивались независимо и использовались для разных целей. По сети передавались данные, а по телефонной системе – речевые сигналы;

2) На втором этапе для передачи данных стали приспособлять существующие аналоговые телефонные сети. При этом речевой сигнал как аналоговый по своей природе передавался как обычно. Цифровые данные, напротив, преобразовывались в аналоговые *с помощью модемов*;

3) На нынешнем этапе, когда получили большое развитие компьютерные сети, а телефонные сети перешли на цифровое представление информации, ситуация коренным образом меняется. Данные в цифровой форме передаются по сетям без изменения их вида, а речевые сигналы передаются в цифровой вид *с помощью кодеков*.

Именно на третьем этапе возникла *компьютерная телефония*, как способ интеграции телефонного аппарата и компьютера.

Для обозначения компьютерной телефонии применяют аббревиатуру СТИ – Computer Telephone Integration.

Благодаря технологии СТИ можно применить персональный компьютер не только для обработки и передачи цифровых данных, но также:

- получить телефонное соединение с любым другим абонентом или оставить голосовое сообщение;
- осуществить доступ к нужной базе данных;
- получить информацию либо в голосовой форме, либо по факсу.

В системе компьютерной телефонии телефонный аппарат становится интерфейсом компьютера, также как монитор и клавиатура.

Первые сети компьютерной телефонии были созданы в США в 90-е годы XX века. В настоящее время эта технология применяется практически в каждом американском офисе. Распространяется она и в Европе, и в России.

Всякая система компьютерной телефонии должна выполнять следующие функции:

- 1) записывать и воспроизводить человеческую речь;

- 2) воспринимать служебные сигналы абонентов, поступающих с их телефонных аппаратов;
- 3) озвучивать речевые сигналы, принятые в цифровой форме;
- 4) реагировать на команды абонента, подаваемые голосом;
- 5) обеспечивать набор телефонных номеров;
- 6) производить мониторинг состояния соединения телефонной линии (установлено ли соединение, свободна линия или занята, какова категория отвечающих абонентов – человек, автоответчик или факс, и т.п.);
- 7) работать как факс-модем.

Опишем эти функции и их реализацию подробнее.

Запись человеческой речи в современных системах производится в цифровом виде на диск компьютера. При этом применяется импульсно-кодовая модуляция (ИКМ, РСМ – Pulse Code Modulation).

Аппаратура компьютерной телефонии распознает сигналы набора номера.

Как известно, в настоящее время существуют два способа набора номера – DTMF и импульсный набор.

Вызывные сигналы системы DTMF хорошо распознаются компьютером.

С импульсным набором дело обстоит сложнее. При нем каждая цифра набора кодируется серией разрывов в цепи между телефонным аппаратом и коммутирующим оборудованием на АТС. Основная проблема состоит в том, что существующие системы компьютерной телефонии ориентированы на обработку тональных сигналов системы DTMF. Поэтому импульсы набора воспринимаются ими как серия отдельных «щелчков», т.е. реакций на эти импульсы. Такие щелчки трудно выделять и распознавать на фоне помех. Поэтому применяемые для обработки сигналов вызова преобразователи *пульс-тон* (pulse-tone) допускают ошибку – либо не воспринимают цифры набора, либо принимают за них переходные процессы в линии, либо речь собеседников.

Практически решает проблему сопряжения импульсного набора с системами, настроенными на сигналы DTMF, специальная приставка – *бинпер*, преобразующая сигналы импульсного набора в сигналы тонального набора номера, поступающие на микрофон компьютера в акустической форме.

Задача *озвучивания сообщений* может решаться двумя способами:

- сборкой из заранее записанных речевых фрагментов;
- прямым формированием речевого сообщения по текстовому файлу.

Сборка из заранее записанных речевых фрагментов позволяет решать только самые простые задачи, например, озвучивание числительных. Чтобы синтезируемое звуковое сообщение звучало плавно, без разрывов, подставляемые слова должны быть интонационно встроенные в общую фразу, чего достичь не просто. В русском языке к этой проблеме добавлена еще и проблема изменяемости слов – приходится для каждого контекста, где встречаются числительные в определенном порядке, делать дополнительную запись. Кроме того, в зависимости от числительного меняются и окружающие его слова, например 331 рубль и 332 рубля.

Значительно более гибким, хотя и более сложным алгоритмически является *прямой синтез звуковых сообщений* по принятому в цифровом виде текстовому

файлу. Существуют алгоритмы синтеза речи по текстам на английском, немецком, японском и ряде других языков. Есть системы и для русского языка. Это, например, *компьютерный переводчик Magic*.

Основная проблема, еще не имеющая полного решения, состоит в том, чтобы синтезированная речь звучала «по-человечески», т.е. с интонациями и ударениями. Есть трудности с озвучиванием имен собственных и адресов.

Для того, чтобы абонент мог подавать команды, не только набирая определенные комбинации цифр на своем телефонном аппарате, но и проговаривая команды, нужно применять технологии *распознавания речи*. Это одна из самых сложных проблем взаимодействия человека с ЭВМ.

Существует два основных режима распознавания речи:

- с настройкой на голос конкретного пользователя;
- без настройки на конкретный голос.

Режим с настройкой на конкретный голос применяется, когда у системы компьютерной телефонии только один пользователь. Тогда система может распознать до нескольких десятков тысяч слов английской речи при слитном их произнесении. Таковы распознаватели фирмы *Dragon Systems*. Для настройки предварительно произносят от трех до 256 заранее заготовленных фраз.

Режим без настройки на конкретный голос применяется в системах общего пользования. Их возможности по распознаванию гораздо меньше.

К сожалению, приспособить зарубежные распознаватели речи, работающие с английскими фразами, на работу с фразами русского языка практически невозможно.

В настоящее время разработан только один отечественный распознаватель русской речи «*Горыныч*» фирмы *White Computers*, Россия. Он является аналогом разработки *Dragon Dictate*, США, и может распознать до 20 тысяч слов. Для голосового управления компьютером разработан также программный пакет «*Голосовая мышь*», предложенный «Клубом голосовых технологий»

Уровень качества распознавания современных *диктографов* (систем автоматического ввода речевого сигнала под диктовку) составляет 90%. Это значит, что компьютер делает ошибку на каждом десятом слове. Это качество приемлемо для бытового разговора, но не достаточно для серьезной работы.

Требования систем распознавания речи к конфигурации ПК довольно сложные. Например, средство *Naturally Speaking* фирмы *Dragon Systems* рассчитано на работу на IBM-совместимом ПК под управлением ОС Windows, начиная с версий 95 или NT с процессором Pentium при ОЗУ объемом 32 – 48 Мбайт, и требует свободного пространства на жестком диске в 60 – 100 Мбайт.

Пример реализации устройства распознавания речи – плата *Dialogic VR/160*, обеспечивающая распознавание речи по 16 каналам.

Урок 2. Интернет-телефония

IP-телефония

До недавнего времени сети с коммутацией каналов, примером которых служат аналоговые телефонные сети, и сети с коммутацией пакетов (IP-сети) существовали практически независимо друг от друга и использовались для разных целей. Телефонные сети использовались для передачи только голосовой информации, а сети с коммутацией пакетов – для передачи данных в цифровой форме. Однако по цифровым сетям с коммутацией пакетов важно передавать не только данные, но и всякие другие сигналы, в том числе и речевые. Это учитывалось при создании технологии Интернет-телефонии.

Интернет-телефония или *IP-телефония* – это технология, позволяющая применять Интернет или другие сети с коммутацией пакетов в качестве средства организации и ведения телефонных разговоров и передачи факсов режиме реального времени.

Термин IP-телефония подчеркивает, что рассматриваемая технология есть один из способов компьютерной телефонии с использованием протокола TCP/ IP, принятого для компьютерных сетей. (Здесь TCP/ IP – Transmission Control Protocol / Internet Protocol – Протокол управления передачей / Межсетевой протокол, протокол TCP/ IP).

Начало Интернет-телефонии было положено в 1995 году, израильская компания Vocal Tec выпустила первую программу для голосовой связи через Интернет, названную *Vocal Tec Internet Phone (VoIP)*. Была доказана возможность речевого общения в реальном времени между пользователями, подключенными к сети ПК, оснащенных звуковыми платами (sound plate) и микрофонами.

В интернет-телефонии существуют две базовые структуры связи.

В первом случае связь устанавливают пользователи ПК, оснащенные средствами мультимедиа и (или) специальными программами (программно-аппаратными средствами), которые обеспечивают ведение дуплексной связи, подключенные к сети Internet. Оцифровка, сжатие и пакетизация речевого сигнала выполняется на компьютере отправителя, а воспроизведение полученного сигнала производится звуковой картой (voice card) на машине получателя.

Структурная схема такого способа показана на рис. 10.1.

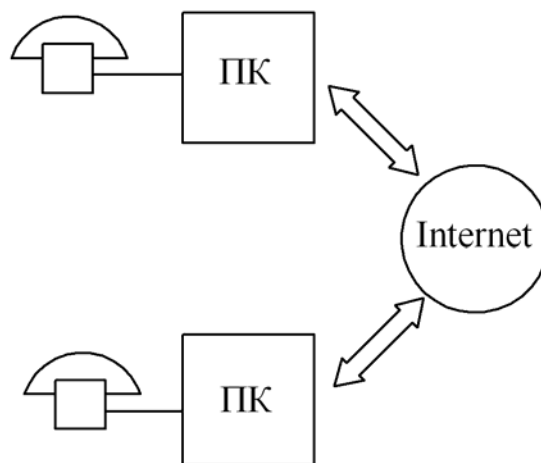


Рис. 10.1. Первый вариант IP-телефонии

Второй вариант осуществления IP-телефонии предусматривает включение между телефонной сетью общего пользования (ТФОП) с коммутируемыми линиями со средой Internet, специальных устройств, называемых *шлюзами*.

Структура такого варианта связи приведена на рис. 10.2.

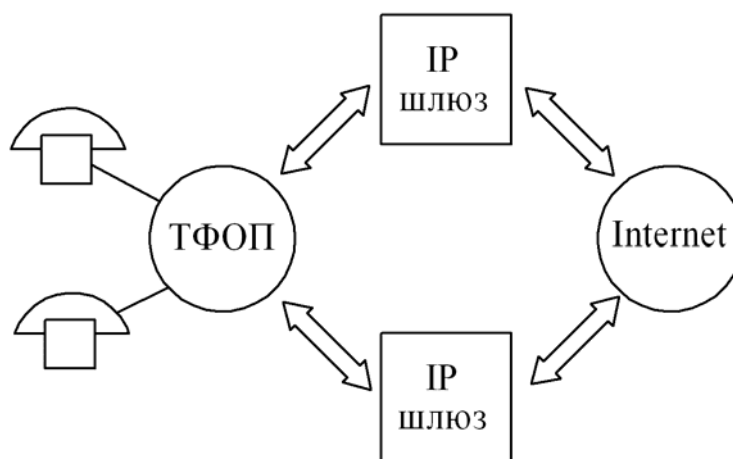


Рис. 10.2. IP-телефония со шлюзами

Телефонный шлюз (IP-шлюз, ITG-IT Gateway) преобразует аналоговые речевые и служебные сигналы в цифровую последовательность, организует из этой последовательности пакеты глобальной сети Internet и передает их в сеть. Кроме того, он принимает пакеты и восстанавливает цифровую последовательность из цифровых речевых и служебных сигналов, а также преобразует их в аналоговую форму.

Функциональная схема IP-шлюза показана на рис. 10.3.



Рис. 10.3. Функциональная схема шлюза

Благодаря применению телефонных шлюзов преимущества современной IP-технологии стали доступны не только для пользователей компьютеров, но и владельцы самых дешевых и удобных абонентских терминалов – телефонных аппаратов. Именно шлюзы сделали IP-технология настоящей телефонией, а не просто передачей голоса по сети Internet.

С включением в IP-сеть со шлюзами абоненту достаточно набрать номер телефона другого абонента, а не его IP-адрес, как требовалось бы сделать по первому варианту IP-телефонии.

Система IP-телефонии со шлюзами (т.е. по второму варианту) осуществляет связь между абонентами - пользователями телефонных аппаратов следующим образом.

Пользователь IP-телефонии звонит по обычному телефонному аппарату (ТА). Тогда, после набора номера, вызов передается в «местный» шлюз, связанный с телефонной сетью вызывающего абонента. Шлюз отыскивает IP-адрес удаленного шлюза, расположенного вблизи вызываемого абонента, и устанавливает с ним связь через Internet. Вызванный шлюз принимает звонок и переключает его на телефонный аппарат (ТА) адресата.

Сформированный путь передачи вызова таков:

- от звонящего абонента до ближайшего к нему шлюза звонок передается через телефонную сеть;
- на участке от вызывающего шлюза до вызываемого используется сеть Internet;
- на промежутке между вызываемым шлюзом и адресатом для передачи опять используется телефонная сеть.

Как только вызываемый абонент снимает трубку, вызывающий шлюз оцифровывает входящий телефонный сигнал (если он не был цифровым), сжимает его, вставляет в IP-пакеты, выполняет обратное преобразование. Оба преобразования производятся одновременно, что позволяет организовать дуплексную связь.

IP-телефония позволяет использовать сеть Internet любому пользователю. Для этого необходимо приобрести кредитную карточку провайдера этой услуги и позвонить со своего телефона на номер сервера. После проверки индивидуального кода абонента, имеющегося на карточке, сервер соединит его с любым абонентом, имеющим «обычный» телефонный аппарат.

Несомненное преимущество IP-телефонии – быстрота соединения. Недостатками первых версий реализации IP-телефонии были низкое качество звучания речи и, главная, «пропадания» речи из-за распределения ее в пакеты. В настоящее время достигнуто хорошее качество звучания. Время задержки пакетов и интервалов между пакетами не стало превышать 0,25 с, что практически не ощущается человеком. Эта задержка меньше той, что получается при связи через спутник.

Аппаратная база и программное обеспечение компьютерной телефонии

Современная система компьютерной телефонии чаще всего представляет собой IBM-совместимый персональный компьютер, в котором установлены одна или несколько плат расширения, реализующим необходимые функции. Эти платы выпускают примерно 15 компаний. Общеизвестный лидер в этой области – американская компания *Dialogic*.

Платы для компьютерной телефонии, разработанные фирмой *Dialogic*, стали отраслевым стандартом, и теперь другие производители в качестве характеристики своей продукции пишут: «совместима с *Dialogic*», подобно тому, как про персональные компьютеры говорят, что они «совместимы с IBM PC».

Среди плат расширения выделяют голосовые платы, факсимильные платы, платы распознавания команд и т.п.

Главным элементом любой системы компьютерной телефонии является так называемые *голосовые платы* (карты) (*voice card*). Решаемые ими задачи:

- установление соединения с абонентом (набор номера и мониторинг линии в процессе установления соединения);
- озвучивание оцифрованной речи;
- распознавание сигналов тонального набора номера;

Все эти функции плата выполняет на аппаратном уровне. Технической базой для работы этих плат являются специализированные процессоры. Они применяются для всех упомянутых выше преобразований сигнала.

Примером голосовой платы фирмы *Dialogic* может служить плата *D/160SC-LC*.

Телефонные шлюзы (ITG) для IP-телефонии реализуются в виде так называемых *DSP-карт*, вставляемых в ПК и управляемых от его центрального процессора. Имеются шлюзы для множества платформ, но большинство производителей предпочитает *Windows NT*. Минимальные требования к конфигурации ПК, используемых как шлюзы, не очень жесткие. Так для применения в качестве шлюза при восьми линиях передачи годится компьютер с процессором *Pentium II* или выше, с *ОЗУ объемом 64 Мбайт* или больше, с одним слотом расширения типа *ISA* для 8-канальной *голосовой платы D/160SC-LC*.

Ранние варианты IP-телефонии использовали для связи друг с другом закрытые протоколы, что ограничивало их распространение. В 1998 году Международный союз электросвязи (МСЭ, ITU) разработал рекомендацию H.323, которая формирует технические требования для передачи аудио- и видеосигналов по сетям передачи данных. Она применяется как стандарт IP-телефонии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беспалько, В.П. Системно-методическое обеспечение учебно-воспитательного процесса подготовки специалистов: учеб.-метод. пособие / В.П. Беспалько, Ю.Г. Татур. – М.: Высшая школа, 1989. – 144с.
2. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей / Под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалёва. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 510с.
3. Электросвязь. Введение в специальность: учебное пособие для вузов / В.Г. Дурнев, А.Ф. Зелевич, Б.И. Крук и др. – М.: Радио и связь, 1988. – 240с.
4. Дьяконов, В.П. Электронные средства связи / В.П. Дьяконов, А.А. Образцов, В.Ю. Смердов. – М.: СОЛОН - Пресс, 2005. – 432с.
5. Корякин-Черняк, С.Л. Телефонные сети и аппараты. / С.Л. Корякин-Черняк, Л.Я. Котенко – Киев: НИЦ «Наука и техника», 1998. – 184с.
6. Судовцев, В.А. Терминология по электросвязи. Аббревиатуры и акронимы, используемые в научно-технической литературе на английском языке: учебное пособие для вузов / В.А. Судовцев, А.В. Судовцев. – М.: Радио и связь, 1994. – 160с.
7. Радиосвязь /Под ред. О.В. Головина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 288с.
8. Скляр, Б. Цифровая связь /Б. Скляр. – М.: Вильямс, 2003. – 1104с.
9. Ратынский, М.В. Основы сотовой связи / М.В. Ратынский. – М.: Радио и связь, 2000. – 248с.
10. Крук, Б.И. ...И мир загадочный за занавесом цифр: цифровая связь /Б.И. Крук, Г.Н. Попов. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2001. – 264с.
11. Соколов, А.В. Альтернатива сотовой связи: транкинговые системы /А.В. Соколов, В.И. Андрианов. – СПб.: БХВ - Петербург: Арлит, 2002. – 448с.
12. Андрианов, В.И. Сотовые, пейджинговые и спутниковые средства связи / В.И. Андрианов, А.В. Соколов. – СПб.: БХВ - Петербург: Арлит, 2001. – 400с.
13. Лосев, А.К. Введение в специальность «Радиотехника»: учебное пособие /А.К. Лосев. – М.: Высшая школа, 1980. – 240с.
14. Шахнович, И. Современные технологии беспроводной связи /И. Шахнович. – М.: Техносфера, 2004. – 168с.
15. Иванова, Т.И. Абонентские терминалы и компьютерная телефония /Т.И. Иванова. – М.: Эко - Трендз, 2001. – 240с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лекция 1. Введение	
Урок 1. Особенности процесса обучения по специальности	3
Урок 2. Формы организации учебного процесса, их роль и значение в процессе подготовки	5
Лекция 2. Основы электросвязи	
Урок 1. Сети и системы электрической связи	10
Урок 2. Краткая история развития электросвязи	15
Лекция 3. Сигналы электросвязи	
Урок 1. Первичные сигналы электросвязи	18
Урок 2. Речевые сигналы	23
Лекция 4. Сети электросвязи	
Урок 1. Основы построения и классификации сетей	27
Урок 2. Линии передачи – основа сети	34
Лекция 5. Многоканальные системы передачи	
Урок 1. Система передачи и каналы передачи	36
Урок 2. Коммутация в сетях электросвязи. Узлы сети – телефонные станции	41
Лекция 6. Принцип построения систем и организации радиосвязи	
Урок 1. Общие принципы и особенности построения систем радиосвязи	47
Урок 2. История развития радиосвязи	53
Лекция 7. Основные преобразования цифровых сигналов и их отражение в учебном плане специальности	57
Лекция 8. Сети и системы подвижной радиосвязи	
Урок 1. Развитие и классификация систем подвижной радиосвязи	65
Урок 2. Особенности построения и функционирования систем сотовой связи	68
Лекция 9. Системы транкинговой связи и системы персонального радиовызова	
Урок 1. Транкинговые системы и сети радиосвязи	73
Урок 2. Сети и системы персонального радиовызова	77
Лекция 10. Телефония и компьютер	
Урок 1. Компьютерная телефония	81
Урок 2. Интернет-телефония	84
Библиографический список	88