

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.05 Защита информации в телекоммуникационных системах**

Направление подготовки (специальность) **10.05.03 Информационная  
безопасность автоматизированных систем**

Профиль образовательной программы **Информационная безопасность  
автоматизированных систем критически важных объектов»**

Форма обучения *очная*

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **1. Конспект лекций**

- Лекция № 1-2 «Основные понятия и определения» .....**
- 1.1 Лекция № 3-5 «Классификация систем электросвязи» .....**
- 1.2 Лекция № 6-7 «Принципы построения систем и сетей передачи информации»...**
- 1.3 Лекция № 8-10 «Кодирование информации в системах связи».....**
- 1.4 Лекция № 11-12 «Цифровые системы передачи информации».....**
- 1.5 Лекция № 13-14 «Системы телефонной, телеграфной, сотовой связи».....**
- 1.6 Лекция № 15-16 «Системы спутниковой связи. Волоконно-оптические системы связи»**

### **2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по теме «Защита информации в телекоммуникационных системах»**

- 2.1 Лабораторная работа № ЛР-1-2 «Различные виды электрических сигналов и их изображение»**
- 2.2 Лабораторная работа № ЛР-3-4 «Характеристики каналов ТЧ»**
- 2.3 Лабораторная работа № ЛР-5-8 «Различные виды модуляции и их графическое представление»**
- 2.4 Лабораторная работа № ЛР-9-12 «Спектры цифровых последовательностей»**
- 2.5 Лабораторная работа № ЛР-13-16 «ОЦК, его параметры и метод формирования»**
- 2.6 Лабораторная работа № ЛР-17-20 «Типы различных кабелей используемых в системах связи»**
- 2.7 Лабораторная работа № ЛР-21-24 «Принцип построения радиорелейных и тропосферных станций»**

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1.1 Лекция № 1-2 (4 часа).

**Тема:** «Основные понятия и определения»

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Информация, сообщение, сигнал, канал связи.
2. Архитектура связи: телекоммуникации, инфокоммуникационная система, система электросвязи, телекоммуникационная сеть, служба связи.

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Информация, сообщение, сигнал.

Человеческое общество живет в информационном мире, который постоянно изменяется и пополняется. То, что человек видит, слышит, помнит, знает, переживает, все это различные формы информации. Следовательно, в широком смысле информацию можно определить как совокупность знаний об окружающем нас мире. В таком понимании информация является важнейшим ресурсом научно-технического прогресса и социально-экономического развития общества и наряду с материей и энергией принадлежит к фундаментальным философским категориям естествознания.

Понятия «информация» (от лат. *informatio* - разъяснение, изложение) и «сообщение» в настоящее время неразрывно связаны между собой. Эти близкие по смыслу понятия сложны, и дать их точное определение через более простые нелегко.

Информация - это совокупность сведений или данных о каких-либо событиях, явлениях или предметах, то есть это совокупность знаний об окружающем нас мире.

Передача и хранение информации осуществляется с помощью различных знаков (символов), которые позволяют представить её в некоторой форме.

Сообщение это совокупность знаков, отображающих ту или иную информацию.

Передача сообщений (а, следовательно, и информации) на расстояние осуществляется с помощью какого-либо материального носителя, например, бумаги или магнитной ленты или физического процесса, например, звуковых или электромагнитных волн, тока и т.д.

Сигнал это физический процесс, отображающий (несущий) передаваемое сообщение. В качестве сигналов в настоящее время в основном используются электрические и оптические сигналы. В электронике сигналом может быть все - от компьютерных цифровых импульсов и до импульсов, модулированных радиоволнами УКВ-диапазона. Сигнал передаёт (развёртывает) сообщение во времени, то есть всегда является функцией времени. Сигналы формируются путём изменения тех или иных параметров физического носителя в соответствии с передаваемым сообщением.

Сообщения могут быть функциями времени, например речь при передаче телефонных разговоров, температура или давление при передаче телеметрических данных, спектакль при передаче по телевидению и т.п. В других случаях сообщение не является функцией времени (например, текст телеграммы, неподвижное изображение и т.д.).

Сигнал передаёт сообщение во времени. Следовательно, он всегда является функцией времени, даже если сообщение (например, неподвижное изображение) таковым не является.

Дискретный или дискретный по уровню (амплитуде) сигнал это сигнал, принимающий по величине (амплитуде) только определённые дискретные значения.

Непрерывный или аналоговый сигнал это сигнал, который может принимать любые уровни значений в некотором интервале величин.

Дискретный по времени сигнал это сигнал, заданный только в определённые моменты времени.

Непрерывный по времени сигнал это сигнал, заданный на всей оси времени.

2. Архитектура связи: телекоммуникации, инфокоммуникационная система, система электросвязи, телекоммуникационная сеть, служба связи.

Сеть связи – совокупность технических средств и среды распространения, обеспечивающих передачу и распределение информации от многих источников ко многим получателям.

Сети связи, построенные на основе средств электросвязи, называются телекоммуникационными сетями. Передача информации производится многоканальными системами передачи, распределение – коммутационными станциями.

Классификация сетей электросвязи:

1. По типу передаваемых сообщений: телефонные, телеграфные, передачи данных, факсимильные, передачи газет, звукового вещания, цифровые сети интегрального обслуживания.

2. По категории пользователей: сети общего назначения, ведомственные (корпоративные) сети.

3. По степени охвата: глобальные, региональные (зональные), локальные.

4. По способу коммутации: сети с долговременной (кроссовой) коммутацией, сети с оперативной коммутацией, сети с коммутацией каналов, сети с коммутацией сообщений, сети с коммутацией пакетов, сети с гибридной коммутацией.

5. По типам каналов связи: проводные сети, радиосети, волоконно-оптические сети, спутниковые сети.

Для доставки сообщений в сетях электросвязи могут быть установлены соединения двух видов: долговременные и оперативные.

В виртуальном режиме перед передачей сообщения между отправителем и получателем организуется виртуальный канал, по которому передаются все пакеты данного сообщения. Отличие виртуального канала от физического, устанавливаемого при коммутации каналов – он может предоставляться на отдельных участках одновременно многим пользователям. В одном физическом канале может быть организовано до нескольких тысяч виртуальных каналов. Для каждой пары абонентов виртуальный канал сохраняет последовательность передаваемых пакетов так же, как физический канал при коммутации каналов. Различают временное виртуальное соединение (канал организуется только на время передачи сообщения) и постоянный виртуальный канал.

В режиме датаграммной передачи виртуальное соединение предварительно не устанавливается, и каждый пакет, называемый датаграммой, передается и обрабатывается в сети как самостоятельное сообщение. Каждая датаграмма содержит адрес, что увеличивает объем служебной информации. Независимая передача пакетов может привести к нарушению порядка их выдачи получателю, и восстановление порядка требует усложнения процедур передачи.

Преимуществом датаграммного режима является возможность передачи пакетов одного и того же сообщения одновременно по различным маршрутам, что сокращает время доставки сообщения и повышает надежность доставки в условиях отказов отдельных элементов сети. Кроме того, благодаря более гибкой маршрутизации обеспечивается более эффективное использование сетевых ресурсов.

Долговременной, или кроссовой, коммутацией называется постоянное прямое соединение между двумя точками сети. Каналы связи, используемые в таких соединениях, называются выделенными.

Более распространена оперативная коммутация, при которой между двумя точками сети организуется временное соединение.

Телекоммуникация - это связь при помощи электронного оборудования такого, как телефоны, компьютерные модемы, спутники и волоконно-оптические кабели.

Телекоммуникационные системы включают в себя телекоммуникационные кабели от абонента до местных коммутаторов (местные линии), коммутационные средства, которые обеспечивают коммуникационное соединение с абонентом, с линиями или каналами, которые передают вызовы между коммутаторами и, естественно, абонентом.

В период с начала до середины 20 века появились такие нововведения, как телефонный обмен, электромеханические коммутаторные системы, кабели, ретрансляторы, несущие системы, микроволновое оборудование, а потом в индустриально развитых районах мира начали распространяться телекоммуникационные системы.

С 1950-х годов до 1984 года в этой отрасли продолжали развиваться новые технологии. Например, спутниковые и усовершенствованные кабельные системы, цифровая и волоконно-оптическая технологии и видеотелефонная связь. Отрасль коммуникаций была полностью компьютеризирована. Все эти модификации способствовали распространению телекоммуникационных систем по всем странам мира.

В 1984 году решением суда в Соединенных Штатах была разрушена монополия корпорации Американский телеграф и телефон (AT&T). Это событие совпало со многими крупными изменениями в технологии самой телекоммуникационной отрасли.

До 1980-х годов практически во всех странах считалось, что телекоммуникационные службы являются службами общественными и работают в законодательных рамках, обеспечивающих монопольное положение. Вместе с ростом экономической активности наступление новых технологий привело к приватизации телекоммуникационной индустрии. Эта тенденция достигла своей кульминации, когда AT&T лишилась своего монопольного положения, и прекратилось государственное регулирование телекоммуникационных систем США. В некоторых других странах сейчас происходят похожие приватизационные процессы.

После 1984 года в результате технического прогресса распространились телекоммуникационные системы, способные обеспечить универсальные услуги людям по всему миру. Это происходит, когда телекоммуникационные технологии объединяются с другими информационными технологиями в смежных областях, таких как электроника и обработка данных.

Внедрение новых технологий по-разному повлияло на занятость в этой отрасли. Несомненно, уровень занятости снизился, в корне изменились задачи работников телекоммуникационной отрасли, а также требования к их квалификации и опыту. Тем не менее, некоторые считают, что в будущем произойдет рост занятости, и случится это в результате новой деловой активности, стимулированной уменьшением государственного регулирования, что приведет к возникновению новых рабочих мест, требующих высокой квалификации.

С точки зрения профессиональной принадлежности работу в телекоммуникационной индустрии можно разделить на две категории: квалифицированные рабочие и офисные работники. К первой категории относятся специалисты по соединению кабелей, монтажники, специалисты-техники по обслуживанию сложного оборудования на внешних установках, в центральных отделениях и в студиях. Эти должности требуют высокой квалификации, особенно при работе на новом технологическом оборудовании. Например, все они должны хорошо разбираться в электрических, электронных и/или механических полях, возникающих при установке, эксплуатации и ремонте телекоммуникационных устройств. Их подготовка требует предварительных занятий и обучения непосредственно на рабочем месте.

К категории офисных работников относятся операторы справочных служб, уполномоченные по работе с абонентами, работники бухгалтерий и отделов продаж. Как правило, они работают с коммуникационным оборудованием, таким как ВДУ (VDU) личных коммутаторов или факсимильные машины, используемые для местных и/или дистанционных соединений, а также выполняют работу в или вне офисов и отвечают за коммерческие контакты с клиентами.

Согласно существующим представлениям, инфокоммуникационная система – это совокупность, включающая сущности информационной и телекоммуникационной систем. Информационная система включает в себя информацию (потенциальную информацию) и пользователя. Телекоммуникационная система обеспечивает перенос информации от источника к потребителю. Таким образом, инфокоммуникационную систему (ИКС) образует совокупность сети телекоммуникаций (телекоммуникационной подсистемы), прикладной подсистемы (средств хранения и обработки информации, прикладных процессов), а также подсистемы источников и потребителей информации (пользовательские подсистемы). Когнитивная инфокоммуникационная система (КИКС) дополнительно включает в себя элементы, обеспечивающие функциональность когнитивной системы (элементы ментальной деятельности, функции мониторинга, сбора информации, исполнительные устройства и др.) во всех перечисленных подсистемах.

В КИКС можно выделить несколько доменов: физический, информационный и когнитивный. Каждая из подсистем КИКС потенциально имеет в своем составе элементы, относящиеся к каждому из этих доменов. В физическом домене происходят энергетические процессы и взаимодействуют технические системы в процессе переноса информации между источниками и получателями. Информационный домен – это область, в которой находятся данные (информация, знания, методы). В когнитивном домене происходит анализ ситуаций и интеллектуальная деятельность, продуктом которой являются оценки и принятия решений. С учетом этого элементы когнитивной инфокоммуникационной системы могут быть классифицированы по отношению к подсистемам и доменам

Уровень когнитивной подсистемы выполняет функции прикладного искусственного интеллекта и интеллектуального управления в реальном масштабе времени объектами, располагающимися на первом уровне архитектуры. Для этого когнитивная подсистема постоянно взаимодействует с сетями сенсоров, исполнительных устройств и информационной подсистемой. Когнитивная подсистема содержит комплекс инструментов (цифровых процессоров, нейропроцессоров, нечеткой логики, соответствующего математического, логического и программного обеспечения), который обеспечивает реализацию когнитивных прикладных процессов и услуг.

## **1. 2 Лекция № 3-5 (6 часов).**

**Тема:** «Классификация систем электросвязи»

### **1.2.1 Вопросы лекции:**

1. Вторичные сети электросвязи.
2. Интеграция услуг документальной электросвязи.
3. Перспективы развития систем электросвязи.
4. Тенденции развития телекоммуникационных систем.

### **1.2.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Вторичные сети электросвязи.

Каналы первичной сети служат основой для построения вторичных сетей, которые различаются по виду передаваемых сообщений. В состав вторичной сети входят: оконечные абонентские установки, абонентские линии, узлы коммутации, каналы, выделенные из первичной сети для образования данной вторичной сети.

В зависимости от вида передаваемых сообщений различают следующие вторичные сети: телефонную, телеграфную, передачи данных, факсимильную, передачи газет, звукового вещания, интегрального обслуживания (ISDN).

Из определения первичной сети следует, что она обеспечивает связь только между определенными узлами. Поэтому для образования путей передачи сообщений к любому узлу сети нужно осуществить соединение между каналами (группами каналов) различных магистралей, оканчивающихся на одном и том же узле. Если на узлах первичной сети установить *кроссовые* соединения, то на базе первичной сети будет создана вторичная *некоммутируемая сеть*.

В узлы некоммутируемой сети могут включаться абонентские линии, которые соединяются с каналами сети также с помощью кроссовых соединений. В большинстве случаев каналы вторичных сетей являются коллективными для всех или группы абонентских пунктов, включенных в данный узел. На узле в этом случае устанавливается аппаратура коммутации, обеспечивающая подключение абонентских линий к каналу лишь на время передачи информации. Таким образом, на базе вторичной некоммутируемой сети образуются вторичные сети другого типа – вторичная *коммутируемая сеть*. Совокупность технических или программных средств для приема, обработки, распределения и передачи сообщений или вызовов называется *узлом* коммутации (УК). Основную долю оборудования УК представляют кросс и коммутационное оборудование.

**Кросс** – это устройство ввода/вывода входящих и исходящих каналов, где осуществляются долговременные (кроссовые) соединения. Подключаемые каналы и линии передачи можно разделить на четыре типа:

- каналы и линии некоммутируемой сети связи, которые в УК проходят только через кросс;
  - каналы и линии коммутируемой сети связи, которые через кросс подключаются к оборудованию коммутации каналов;
  - каналы и линии коммутируемой сети связи, которые через кросс подключаются к оборудованию коммутации сообщений (пакетов);
  - абонентские линии, которые кроссируются на коммутационное оборудование.
- Коммутационное оборудование* обеспечивает какой-либо способ коммутации:
- коммутацию каналов, реализующую установление соединения по вызову;
  - коммутацию сообщений, предполагающую прием, обработку, хранение и транзит сообщения;
  - коммутацию пакетов, осуществляющую прием, обработку, хранение и транзит пакета;
  - гибридную или адаптивную коммутацию.

Такие вторичные сети, как телефонные и факсимильные, чаще всего используют способ коммутации каналов, а телеграфные и передачи данных могут использовать различные способы коммутации каналов, сообщений, пакетов.

В зависимости от числа абонентов и размеров территории вторичные сети могут иметь различную структуру. При радиальном построении вторичной сети все оконечные пункты (ОП) соединяются в один узел, который является узлом коммутации и осуществляет

соединения между ОП. Радиальный способ обычно используется на небольшой территории.

## 2. Интеграция услуг документальной электросвязи.

До начала 90-х годов телеграфная связь являлась практически единственным видом документальной электросвязи, который был доступен широкому кругу потребителей в нашей стране. В настоящее время в телеграфии имеют место кризисные явления, которые проявляются в постоянном снижении спроса на телеграфные услуги, начавшемся в 1992 г.

Так в 1994 г. исходящий платный телеграфный обмен составил 102 млн. телеграмм (48 процентов от 1991 г.), количество абонентов сети АТ-50 составило 50,5 тыс. (75 процентов от 1991 г.). До 1994 г. количество абонентов сети Телекс увеличивалось, однако темпы роста с каждым годом снижались и уже в 1994 г. число абонентов снизилось до 7,2 тыс. (на 6 процентов меньше, чем в 1993 г.).

Основная причина кризиса, кроме экономической ситуации в стране, заключается в отставании возможностей телеграфной связи от уровня современных требований к услугам документальной электросвязи. Это обстоятельство усугубляется наличием на телеграфных сетях морально устаревшего и исчерпавшего срок службы оборудования, а также серьезной конкуренцией со стороны интенсивно развивающихся в нашей стране современных и более привлекательных для потребителей таких видов документальной связи как передача данных, электронная почта, факсимильная связь.

Пользующиеся возрастающим спросом виды документальной электросвязи, по существу, являются естественным продолжением и развитием телеграфной связи на основе использования современных технологий микроэлектроники и вычислительной техники, эффективных методов коммутации и передачи, позволивших значительно расширить номенклатуру и повысить качественные показатели предоставляемых услуг.

Однако технические характеристики телеграфных средств (коммутационное оборудование телеграфной сети общего пользования и сетей абонентского телеграфирования, телеграфные каналы, телеграфные аппараты) в принципе не рассчитаны на организацию новых услуг документальной электросвязи. Таким образом любые мероприятия, ограниченные только вопросами телеграфной связи и не предусматривающие расширение номенклатуры предлагаемых услуг, не эффективны, так как не могут устранить основную причину кризиса - существенное падение спроса на телеграфные услуги. В то же время предприятия электросвязи, являющиеся операторами телеграфной связи, имеют значительные потенциальные возможности по развитию служб документальной электросвязи и существенные преимущества перед другими предприятиями-операторами, действующими в этой области, в том числе:

- деятельность во всех регионах, что позволяет быстро развернуть и обеспечить функционирование новых служб по всей территории страны;
- разветвленная сеть отделений связи и действующая система доставки, представляющие собой готовую базу для развития новых клиентских служб;
- развитая инфраструктура обеспечения функционирования сетевых средств (технологические помещения, каналы связи, квалифицированный персонал) позволяет практически без серьезных затрат организовать размещение и эксплуатацию технических средств новых служб;
- около 60 000 абонентов сетей АТ и Телекс образуют значительный и уже находящийся в сфере обслуживания предприятий электросвязи рынок для предложения новых услуг;
- большинство предприятий одновременно являются операторами зональных и местных телефонных сетей, что позволяет эффективно решать вопросы доступа абонентов к услугам новых служб.



Таким образом решение проблемы кризиса телеграфной связи и обеспечение функционирования телеграфных служб должно рассматриваться в более широком плане, а именно как составная часть общего процесса развития документальной электросвязи всеми предприятиями, являющимися в настоящее время операторами телеграфной связи.

### 3. Перспективы развития систем электросвязи.

Информационно-коммуникационные технологии и услуги в настоящее время являются ключевым фактором развития всех областей социально-экономической сферы. Как и во всем мире, в России эти технологии демонстрируют бурные темпы роста. Так, в последние пять лет рост рынка услуг связи у нас ежегодно составляет около 40%.

В структуре расходов федерального бюджета на 2006 год впервые появился специальный инвестиционный фонд. Направления затрат этого фонда являются предметом жарких дискуссий в обществе и структурах власти. В частности, из инвестиционного фонда можно было бы финансировать и телекоммуникационные проекты, в первую очередь для того, чтобы создать цифровую инфраструктуру в общероссийском масштабе.

Надежность и доступность связи и телекоммуникационных услуг в нашей стране давно является острой проблемой, и такие информационные услуги, как высокоскоростной доступ в Интернет, видеосвязь, кабельное телевидение, IP-телефония и т.п., развиваются в основном в Москве и Санкт-Петербурге, хотя необходимость в такого рода услугах ощущают все жители России.

И пока у нас идут споры о том, стоит ли выделять средства из инвестиционного фонда на такие инфраструктурные проекты, как строительство межрегиональных цифровых магистралей (которые, кстати, могли бы послужить катализатором развития других сегментов ИТ-отрасли и экономики в целом), во всем мире близится пора кардинального увеличения пропускной способности цифровых информационных сетей, что неизбежно повлечет за собой появление качественно новых видов услуг, которые, возможно, будут нам уже просто недоступны.

Так, в сентябре 2005 года в г.Сан-Диего (США) прошли очередные конференция и выставка iGrid. Это международное движение, развивающее идею lambdaGrid: слово lambda обозначает длину волны, а Grid — «сетку» с намеком на географическую сеть параллелей и меридианов. В общем-то, это движение не такое уж и новое, а его технологические принципы давно разработаны. Речь идет о технологии DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing), то есть о глобальном мультиплексировании цифровых коммуникаций. Пожалуй, ближайшей и довольно точной аналогией для понимания основ этой технологии является переход от телеграфа и искрового радио Маркони и Попова к современному многочастотному радиовещанию, то есть сетевой мир переходит от примитивных технологий передачи данных по оптоволокну к одновременному использованию при передаче волн разной длины. Проще говоря, приемники/передатчики сигналов (DWDM-enabled FO transceiver) из черно-белых превращаются в разноцветные. При этом сам опто-

проводник имеет уже достаточно широкую полосу прозрачности, а точнее, широкую полосу удержания пучка света внутри оптоволокну с малыми потерями на эмиссию не по направлению вдоль оси волокна, вследствие чего новых кабелей прокладывать не нужно.

К тому же новые DWDM-трансиверы — квазидуплексные, то есть по одному волокну можно передавать данные в обе стороны одновременно. В численном выражении это означает, что по нынешним десятигигабитным оптоволоконным каналам DWDM-технологии позволяют передавать до 160 потоков одновременно, причем речь идет о магистральных, длинных каналах, в том числе о трансконтинентальных. Получается, что на все так называемое прогрессивное человечество вдруг сваливается такой неожиданный

подарок, как увеличение пропускной способности сетей на два порядка. Кроме того, наличие множества свободных каналов позволит выделять их по мере необходимости и направлять потоки данных параллельно вместо последовательной передачи их по одному каналу, как было прежде. Естественно, для этого нужны новые аппаратно-программные решения и необходима интеграция сегодняшних владельцев сетей в единую информационную инфраструктуру.

#### 4. Тенденции развития телекоммуникационных систем.

Современное состояние телекоммуникационных сетей можно определить термином «движение к совершенству». Вряд ли можно предугадать, как они будут выглядеть в будущем, сколько поколений сетей и технологий предстоит еще пройти. Однако уже сегодня видны первые наработки: мощные сети передачи и коммутации пакетов, высокоскоростные линии доступа, оптические телекоммуникационные технологии и т. д., которые и определяют следующие поколения телекоммуникационных сетей. Сети связи для предоставления услуг телефонии появились в начале XX века и за последующее время претерпели ряд изменений с точки зрения емкости, скорости обмена, используемых технологий и функций узлов коммутации. В настоящее время принято выделять три основных этапа развития телефонных сетей общего пользования, оборудование которых продолжает активно использоваться.

С появлением цифровых систем передачи с середины 1980-х годов начала развиваться сетевая концепция ISDN. Несмотря на то, что при этом первоначально предполагалось создание интегральной сети, позволяющей предоставлять в рамках единой сетевой структуры различные виды услуг связи, основным приложением осталась услуга телефонии. Сети ISDN предусматривали использование цифровых систем передачи и цифровых узлов коммутации. При этом, для организации взаимодействия аппаратуры узлов коммутации между собой и с подключаемым терминальным оборудованием были разработаны достаточно мощные системы сигнализации, позволяющие

передавать не только сигнальную информацию, связанную с установлением базового вызова, но и сведения, относящиеся к состоянию элементов сети связи, маршрутизации вызовов, согласованию параметров передачи и т. д. В связи с тем, что к моменту появления решений на основе концепции ISDN уже были созданы достаточно мощные сетевые структуры в рамках POTS, вновь внедряемое оборудование должно было обеспечить взаимодействие с существующими сетевыми фрагментами без снижения качества их работы и сокращения функциональных возможностей по предоставлению услуг доступа. До последнего времени существующая сетевая структура для предоставления услуг телефонии включает в свой состав сетевые фрагменты как на основе решений POTS, так и на основе ISDN. При этом наблюдается тенденция постепенного замещения морально устаревающего телекоммуникационного оборудования первого поколения.

В конце 90-х годов с появлением Интернета основными пользователями стали физические лица, что привело к увеличению разветвленности и повышению емкости сети. В результате возникла потребность в сетевой структуре, не уступающей по своим масштабным характеристикам телефонной сети общего пользования (ТфОП). Однако использование двух параллельных сетевых структур по экономическим и эксплуатационным показателям было не эффективным. Это потребовало разработки технологических решений, обеспечивающих передачу различных видов информации и предоставления различных видов услуг связи в рамках единой сетевой структуры. В

основе такого решения должен был лежать единый метод передачи информации на основе коммутации пакетов. Формирование этого метода привело к появлению сетей третьего поколения – сетей NGN (Next Generation Network).

Первое из этих решений – идея гибкого программного коммутатора (softswitch) как средства централизованного управления VoIP-сетью, то есть набором VoIP-шлюзов. В каком-то смысле появление концепции softswitch было реакцией «телефонного» сообществ на развитие IP-технологий. Заменяв телефонные коммутаторы на шлюзы (media gateways), и установив softswitch в качестве центрального управляющего элемента, задающего логику маршрутизации вызовов между шлюзами, получили что-то похожее на телефонную сеть. Таким образом, softswitch «отвечает» за работу сети в целом (реализация общих для всей сети правил, обеспечение интеллектуальной динамической маршрутизации, централизованные номерные планы, взаимодействие с сетью сигнализации ОКС 7).

Обобщенная концепция такого построения сети получила название сети связи следующего поколения (Next Generation Network, NGN). NGN – это гетерогенная мультисервисная сеть, основанная на пакетной коммутации, и обеспечивающая предоставление практически неограниченного спектра телекоммуникационных услуг. При этом предполагалось, что NGN в качестве технических средств будет использовать аппаратно – программные средства, ориентированные на стек протоколов TCP/IP.

Следует отметить, что понятие «сеть NGN», как и более раннее «сеть ISDN», является технологическим, то есть определяет вид сетей связи по принципу используемой технологии, а не по принципу предоставления услуг. Это означает, что ТфОП остается сетью, предназначенной для предоставления услуг телефонии независимо от того, какой технологический базис используется для ее построения. Такая сеть должна поддерживать передачу разнородного трафика с различными требованиями к качеству обслуживания и обеспечивать соответствующие запросы оператора и абонентов.

Таким образом, идеология NGN представляет собой передачу любой информации в единой форме представления – IP-пакете. Традиционные сети не могут поддерживать обмен трафиком в формате IP. Этот факт подразумевает необходимость реконструкции всей архитектуры сети: транспортной инфраструктуры, уровня доступа и сетевой иерархии. Остановимся более подробно на каждом из этих элементов.

### **1. 3 Лекция № 6-7 (4 часа).**

**Тема:** «Принципы построения систем и сетей передачи информации»

#### **1.3.1 Вопросы лекции:**

1. Способы представления сообщений и сигналов.
2. Источники информации: виды источников, виды сообщений, характеристики источника дискретных сообщений.
3. Структура систем передачи информации: состав системы передачи информации, назначение элементов системы передачи информации.

4. Первичные сигналы: виды сигналов, цифровые сигналы данных, основные характеристики сигналов.

5. Каналы связи: виды каналов, виды искажений цифровых сигналов данных, методы регистрации цифровых сигналов данных (метод стробирования, интегральный метод).

### 1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1. Способы представления сообщений и сигналов.

Способы представления сигналов электросвязи представлены рисунком 8.



Рисунок 8 - Способы представления сигналов

*Временная диаграмма* представляет собой график зависимости какого либо параметра сигнала (например, напряжения или тока) от времени (рисунок 9). На временной диаграмме сигнала можно наблюдать форму сигнала. Временную диаграмму (осциллограмму) можно визуальнo наблюдать с помощью специального измерительного прибора — осциллографа.

*Векторная диаграмма* используется при изучении процессов связанных с изменением фазы сигнала (например, при фазовой модуляции). В данной диаграмме сигнал представляется вектором, длина которого пропорциональна амплитуде сигнала, а угол наклона относительно исходного вектора показывает фазу сигнала. В *геометрической диаграмме* сигнал представляется в виде геометрической фигуры. Данная диаграмма может быть использована при визуальном представлении объема сигнала.

*Спектральная диаграмма* представляет собой график распределения энергии (спектр амплитуд) или фаз (спектр фаз) сигнала по частотам. Более подробно данный способ

представления сигналов будет описан ниже. Данные диаграммы можно наблюдать с помощью специального измерительного прибора — анализатора спектра.

*Математической моделью сигнала* называется математическое выражение, по которому можно определить значения сигнала в любой момент времени.

Математические модели необходимы для изучения сигналов и моделировании электрических цепей.

2. Источники информации: виды источников, виды сообщений, характеристики источника дискретных сообщений.

Понятие "**источник информации**" не следует отождествлять с понятием "**информация**", которое пока можно предполагать как исходное. Очевидно, что любой **источник информации - это особым образом структурированная информация**. Однако в самом определении понятия "источник информации" было бы явно нецелесообразно стремиться получить полное представление о структуре этого источника. С точки зрения научного подхода к определению такого рода понятий необходимо определить только такие основополагающие свойства, из которых все остальные свойства можно было бы выводить логическим путем. Чтобы выявить эти основополагающие свойства, необходимо проанализировать разновидности существующих источников информации, а затем осуществить синтез полученных данных, т.е. свести данные анализа к чему то единому.

Тогда формулировка общего понятия может принять очень простой и лаконичный вид: **источник информации - это система, компоненты которой обеспечивают размещение, доступность и целостность информации в соответствии с ее назначением**. Так это, оказывается, система! В рамках этой системы размещение информации должно обеспечиваться соответствующей структурой, а доступность и целостность информации - соответствующими функциями управления. Назначение информации, по всей видимости, не может определяться самим источником информации и предполагает выход за его пределы путем установления связей с другими источниками. Поскольку само понятие "управление" изначально возникло как функция систем, а независимое существование каждого отдельного источника информации просто немыслимо без его связей с другими источниками, т.е. без системы источников, то становится очевидным, что дальнейшее исследование путей решения главной проблемы КТ самым серьезным образом теперь упирается в ключевое понятие "система".

К внешним источникам относятся следующие:

обзоры рынка;  
аналитические статьи;  
реклама;  
статистика;  
заказные обзоры;  
интернет;

журналы;  
базы данных;  
заказные исследования;  
эксперты;  
информация об уже проведенных исследованиях.

Внутренние источники:

финансовая отчетность;  
статистика производства, продаж, качества;  
отчеты о проведенных ранее обследованиях;  
различные статистические данные и пр.

К процессу сбора полезной информации можно привлечь и сотрудников компании. Это можно делать в форме беседы, интервью, а также при анкетировании.

Внешние источники информации. В каждом конкретном случае успешное создание стратегии неизменно предваряется определенными предпосылками, которые должны быть созданы в ходе скрупулезной подготовительной работы. Поэтому так важно проанализировать как можно больше разнообразных внешних источников информации о соответствующем рынке. К ним относятся всевозможные обзоры рынка, аналитические статьи, посвященные темам, существенным для разработки будущей стратегии. Внешним источником информации может служить даже анализ рекламы, которую дают соперники, ибо нередко она указывает на стратегические направления деятельности конкурирующей компании...

Внутренние источники информации. При разработке стратегии необходимо анализировать прежде всего уже имеющуюся у компании информацию. Ее анализ обязательно следует осуществлять на всех уровнях организации. Так, например, иногда имеет смысл выяснить, к какому источнику относится финансовая отчетность. Благодаря такого рода сведениям можно получить исчерпывающую картину развития компании за последние несколько лет, отследить различные тенденции ее развития, а также поставить, как это будет показано выше, некоторые стратегические задачи на основе определенных значений тех или иных финансовых показателей...

3. Структура систем передачи информации: состав системы передачи информации, назначение элементов системы передачи информации.

Разработка систем передачи и приема дискретной информации осуществляется в такой период, когда уже накоплен определенный опыт создания и эксплуатации традиционных телеграфных и телефонных сетей связи. При этом в ряде случаев оказывается выгодным использовать уже существующие средства передачи информации, поскольку они могут обеспечить решение текущих задач и задач ближайшего будущего. Хотя в таком подходе к решению задачи создания эффективных систем передачи дискретной информации сказывается бремя традиций, тем не менее, путем разработки специальной аппаратуры сопряжения, синхронизации, коммутации удастся обеспечить достаточно эффективное использование телефонных и телеграфных сетей для передачи цифровых данных.

Одновременно ведется разработка широкополосных каналов связи для передачи больших массивов информации с высокой скоростью. Естественно, что опыт построения телефонных и телеграфных сетей, а также использование соответствующих каналов связи оказали влияние на структуру систем передачи дискретной информации.

По структуре системы передачи данных разделяются на системы с фиксированными направлениями связи между абонентами, рис. 3.33, а, и системы с переменными направлениями связи между абонентами, рис. 3.33, б. В системах с фиксированными направлениями связи абоненты, которые являются источниками и потребителями информации, связываются между собой постоянно закрепленными за ними каналами. При этом каждая пара абонентов имеет свой индивидуальный канал передачи данных. В системах с переменными направлениями связи постоянно закрепленные за абонентами каналы отсутствуют. Абоненты взаимодействуют между собой через центры коммутации, которые представляют абонентам услуги по передаче сообщений, образуя необходимые каналы связи или принимая сообщения для доставки соответствующим абонентам.

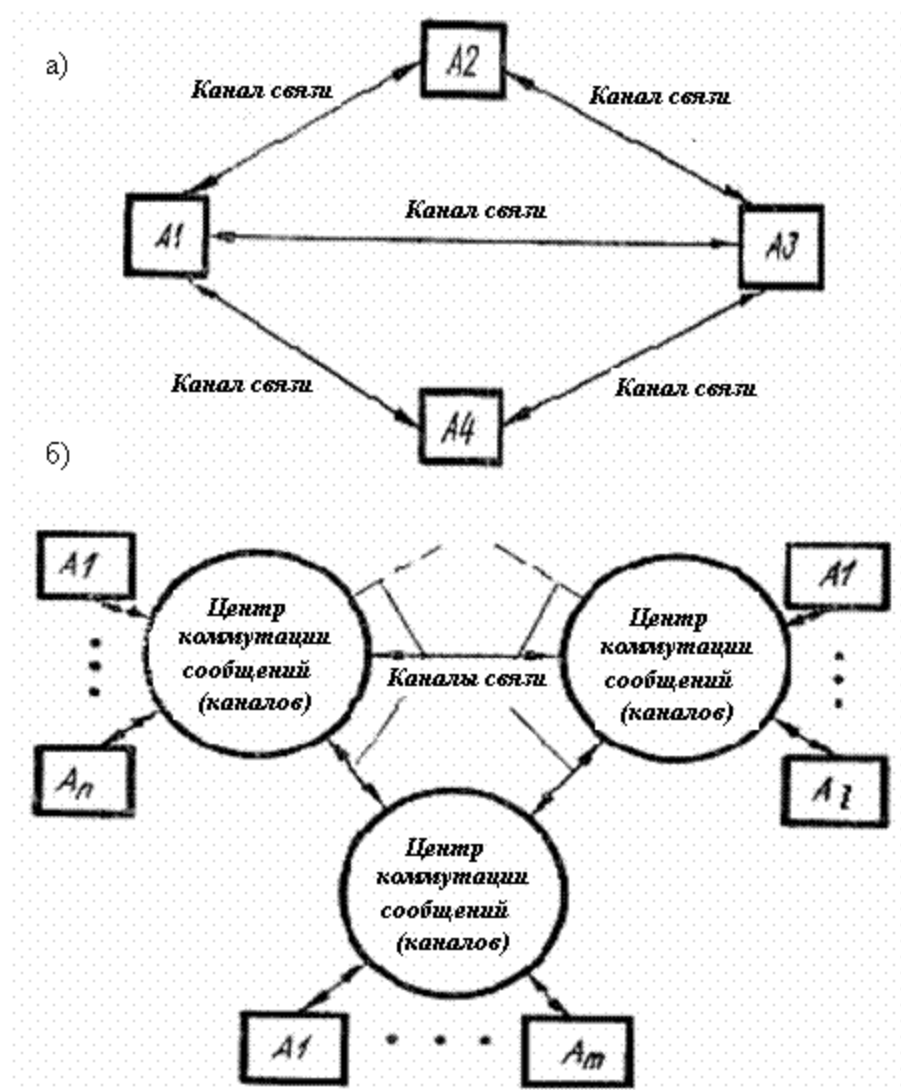


Рис. 2.33. Структурные схемы передачи данных: а - с фиксированными направлениями связи между абонентами; б - с переменными направлениями связи между абонентами

Системы с фиксированными направлениями связи используются преимущественно в тех случаях, когда передаваемая информация быстро «стареет» или когда взаимодействие абонентов в силу специфики решаемой задачи должно быть непрерывным. В большинстве случаев для передачи данных используются системы с переменными направлениями связи, в которых обеспечивается большая занятость каналов, лучше используется пропускная способность.

Обычно системы строятся по иерархическому принципу, согласно которому абоненты объединяются с помощью коммутационных центров низшего уровня. Объединение центров коммутации низшего уровня осуществляется с помощью концентраторов. Мощные центры коммутации соединяются с помощью линий связи с высокой пропускной способностью. Такая структура дает возможность дальнейшего наращивания системы. Если центр коммутации связан с двумя-тремя другими центрами, то обеспечивается высокая надежность передачи данных при повреждении отдельных участков системы.



В системах передачи данных, как и в системах телефонной и телеграфной связи, используются два способа передачи информации: **коммутация каналов** и **коммутация сообщений**.

В системах с **коммутацией каналов** передача сообщений осуществляется после того, как организуется канал связи, соединяющий одного абонента с другим. В системах с **коммутацией сообщений** не требуется организации сквозного канала, здесь информация поэтапно передается из одного центра коммутации в другой. В промежуточных пунктах осуществляется запоминание информации с последующей передачей ее в направлении получателя. В системах с коммутацией сообщений передача данных производится поэтапно по мере освобождения каналов в нужном направлении. Оба способа широко используются при передаче данных, хотя каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

В системах с коммутацией каналов соединение абонентов осуществляется на основании случайного потока вызовов. Это обуславливает случайную занятость каналов и возможность потери некоторого количества вызовов (т.е. отказов в установлении соединения) в часы наибольшей загрузки и в то же время большую недогрузку системы в периоды спада нагрузки. Вследствие этого систему с коммутацией каналов называют иногда системой с отказами.

В системах с коммутацией сообщений данные передаются от одного центра коммутации к другому с запоминанием в пунктах переприема.

4. Первичные сигналы: виды сигналов, цифровые сигналы данных, основные характеристики сигналов.

Первичным сигналом электросвязи называется электрический сигнал, получаемый на выходе преобразователя сообщений в электрический сигнал. Параметры первичного сигнала, величины которых однозначно отображают передаваемое сообщение, называются представляющими (информационными) параметрами. В качестве представляющих параметров используют один или несколько параметров первичного сигнала, например, амплитуду, частоту или фазу гармонического сигнала; непрерывную или дискретную последовательность мгновенных значений первичного сигнала; ширину, амплитуду или фазу импульсов; структуру и разрядность кодовых комбинаций и т.д..

Рассмотрим основные характеристики первичного сигнала.

1. Длительность первичного сигнала  $T_c$  – определенный интервал времени, в пределах которого существует сигнал, т.е. тождественно не равен 0.

2. Динамический диапазон  $D_c$  характеризует возможный разброс

мощностей первичного сигнала в конкретной точке канала:

$$D_c = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}, \text{ дБ} \quad (2.10)$$

3. Защищенностью первичного сигнала электросвязи  $A_3$  называется превышение средней мощности сигнала  $W_{cp}$  над средней мощностью помехи  $W_{п}$  :

$$A_3 = 10 \lg \frac{W_{cp}}{W_{п}}, \text{ дБ} \quad (2.12)$$

8. Спектр реального сигнала, строго говоря, занимает бесконечно широкую полосу. Однако, всегда можно указать частотный диапазон  $\Delta F_c$ , в пределах которого сосредоточена основная энергия сигнала:

$$\Delta F_c = F_{\max} - F_{\min}, \quad (2.13)$$

где  $F_{\max}$ ,  $F_{\min}$  - максимальная и минимальная частоты первичного сигнала.

Этот диапазон называется эффективно-передаваемой полосой частот (ЭППЧ). ЭППЧ устанавливается экспериментально, исходя из требований качества передачи для конкретного вида первичного сигнала.

Первичные сигналы можно классифицировать по виду передаваемых сигналов. Этой классификацией предусмотрены аналоговые, дискретные, цифровые, узкополосные и широкополосные сигналы.

Аналоговыми (непрерывными) называются сигналы электросвязи, у которых величина представляющих параметров может принимать непрерывное множество различных значений (например, телефонные сигналы).

Дискретными называются сигналы электросвязи, у которых величина одного из представляющих параметров принимает счетное (возможно даже бесконечное) множество значений.

Цифровыми называются сигналы электросвязи, у которых счетное множество значений одного из представляющих параметров описывается ограниченным набором кодовых комбинаций (например, телеграфные сигналы, сигналы передачи данных).

Если отношение граничных частот ЭППЧ первичного сигнала  $\frac{F_{\max}}{F_{\min}} \leq 2$ , то такие сигналы называются узкополосными, а если  $\frac{F_{\max}}{F_{\min}} \geq 2$ , то сигналы называются широкополосными.

5. Каналы связи: виды каналов, виды искажений цифровых сигналов данных, методы регистрации цифровых сигналов данных (метод стробирования, интегральный метод).

Канал связи (англ. channel, data line) — система технических средств и среда распространения сигналов для односторонней передачи данных (информации) от отправителя (источника) к получателю (приёмнику). В случае использования проводной линии связи, средой распространения сигнала может являться оптическое волокно или витая пара. Канал связи является составной частью канала передачи данных.

Существует множество видов каналов связи, среди которых наиболее часто выделяют каналы проводной связи (воздушные, кабельные, световодные и др.) и каналы радиосвязи (тропосферные, спутниковые и др.). Такие каналы в свою очередь принято квалифицировать на основе характеристик входного и выходного сигналов, а также по изменению характеристик сигналов в зависимости от таких явлений, происходящих в канале, как замирания и затухание сигналов. == По типу среды распространения каналы связи делятся на проводные, акустические, оптические, инфракрасные и радиоканалы.

Каналы связи также классифицируют на:

- непрерывные (на входе и выходе канала — непрерывные сигналы),
- дискретные или цифровые (на входе и выходе канала — дискретные сигналы),
- непрерывно-дискретные (на входе канала — непрерывные сигналы, а на выходе — дискретные сигналы),
- дискретно-непрерывные (на входе канала — дискретные сигналы, а на выходе — непрерывные сигналы).

Каналы могут быть как линейными и нелинейными, временными и пространственно-временными. Возможна классификация каналов связи по диапазону частот.

Характеристики.

Используют следующие характеристики канала

- Эффективно передаваемая полоса частот  $\Delta F$ ;
- $$D = 10 \lg \frac{P_{max}}{P_{min}};$$
- Динамический диапазон
- Волновое сопротивление;
- Пропускная способность;
- Помехозащищённость  $A$ ;
- Объём  $V_k$ .

*Помехоустойчивость*

$$A = 10 \lg \frac{P_{min \text{ signal}}}{P_{noise}} \quad \text{Где} \quad \frac{P_{min \text{ signal}}}{P_{noise}} \text{ —}$$

Помехозащищённость  
минимальное отношение сигнал/шум;

#### 1. 4 Лекция № 8-10 (6 часов).

Тема: «Кодирование информации в системах связи»

##### 1.4.1 Вопросы лекции:

1. Методы кодирования формы сигнала: импульсно-кодовая модуляция, дифференциальная импульсно-кодовая модуляция, дельта-модуляция. Полувокодеры.

2. Кодирование источников дискретных сообщений: равномерные коды, неравномерные коды.
3. Методы эффективного кодирования источников: кодирование по методу Шеннона-Фано, кодирование по методу Хаффмана.
4. Классификация помехоустойчивых кодов.

#### 1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1. Методы кодирования формы сигнала: импульсно-кодовая модуляция, дифференциальная импульсно-кодовая модуляция, дельта-модуляция.

Импульсно- кодовая модуляция-это способ кодирования аналоговых сигналов, при котором их передача выполняется в виде серии коротких импульсов.

Наиболее широкое распространение импульсно-кодовой модуляции получила в системах кодирования-декодирования, а также для передачи кодированного сигнала в телефонных сетях.

С помощью импульсно- кодовой модуляции можно также выполнять оцифровку аналоговых сигналов, причем это свойство применимо для данных самого различного характера: видео и звуковые данные, данные телеметрии.

Передаваемые с помощью использования импульсно- кодовой модуляции аналоговые данные могут быть оставлены без изменения или уменьшены в объеме с помощью различных методов кодирования. Подобное свойство также широко используется в различных устройствах, несмотря на то, что в данном случае несколько ухудшается качество принимаемого сигнала.

Дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (ДИКМ) — это метод кодирования сигнала, который основывается на импульсно-кодовой модуляции, но использует дополнительные возможности для компактного представления, основываясь на прогнозировании отсчётов сигнала. ДИКМ может применяться для аналогового сигнала или цифрового сигнала.

Если необходимо использовать ДИКМ для аналогового сигнала, то сигнал должен быть сперва дискретизирован (семплирован), так чтобы отсчеты дискретизированного сигнала могли бы подаваться на вход кодера ДИКМ.

Существует два варианта реализации ДИКМ:

- Вариант 1: принимать значения двух последовательных семплов; если это аналоговые семплы, квантовать их; вычислить разницу между первым и следующим; результат — полученная разница, и она может быть энтропийно закодирована.
- Вариант 2: вместо взятия разницы относительно предыдущего входного семпла, берём разницу относительно выходной локальной модели декодирующего процесса; в этом варианте разница может быть квантована, что дает возможность контролировать потери в кодировании.

- (ДМ) — способ преобразования аналогового сигнала в цифровую форму. Метод дельта-модуляции был изобретён в 1946 г.

В каждый момент отсчёта преобразуемый сигнал сравнивается с пилообразным напряжением на каждом шаге дискретизации. Пилообразное напряжение поступает из

интегратора, который замыкает цепь обратной связи дельта-модулятора. Таким образом, поступающий в сумматор сигнал сравнивается со значением сигнала в конце предыдущего шага дискретизации. Если в момент сравнения текущая величина сигнала превышает мгновенное значение пилообразного напряжения (выходное напряжение интегратора), то последнее нарастает до следующей точки дискретизации, в противном случае оно спадает. В простейшей системе модуль скорости изменения пилообразного напряжения сохраняется неизменным в процессе преобразования. Полученный бинарный сигнал можно рассматривать как производную от пилообразного напряжения. Выбирая достаточно малым значение шага  $\Delta$ , можно получить любую заданную точность представления сигнала.

Фактически, дельта-модуляция представляет собой разновидность другого, более известного, способа преобразования — импульсно-кодовой модуляции (ИКМ), в которой число уровней квантования равно двум. При ДМ по каналу связи передаётся не абсолютное значение сигнала, а разность между исходным аналоговым сигналом и аппроксимирующим напряжением (сигнал ошибки). По сравнению с конкурирующими методами, ИКМ и АДИКМ, дельта-модуляция характеризуется меньшей сложностью технической реализации, более высокими помехозащищённостью и гибкостью изменения скорости передачи.

Преимущество дельта-модуляции по сравнению, например, с ИКМ, которая также генерирует бинарный сигнал, заключается не столько в реализуемой точности при заданной частоте дискретизации, сколько в простоте реализации.

В речевых элементах в вокодерах при кодировании распознаются произносимые элементы речи (например, фонема) и на выход кодера подаются только их номера. В декодере эти элементы создаются по правилам речеобразования или берутся из памяти декодера. Фонемные вокодеры предназначены для получения предельной компрессии речевых сигналов. Область применения фонемных вокодеров - линии командной связи, управление и говорящие автоматы информационно-справочной службы. В таких вокодерах происходит автоматическое распознавание слуховых образов, а не определение параметров речи и, соответственно, теряются все индивидуальные особенности диктора.

Вообще вокодер (от английских слов voice-голос и coder-кодер) представляет собой устройство, которое совершает параметрическое компандирование речевых сигналов. Компрессия речевых сигналов в кодере осуществляется в анализаторе, который выделяет с речевого сигнала параметры, которые медленно меняются. В декодере при помощи местных источников сигналов, которые управляются принятыми параметрами, синтезируется речевой сигнал.

В параметрических вокодерах с речевого сигнала выделяют два типа параметров и по этим параметрам в декодере синтезируют речь:

- Параметры, которые характеризуют источник речевых колебаний (генераторную функцию) - частота основного тона, ее изменение во времени, моменты появления и исчезновения основного тона (огласованные или гортанные звуки), шумового сигнала (шипящие и свистящие звуки);
- Параметры, которые характеризуют огибающую спектра речевого сигнала

- В декодере, соответственно, по заданным параметрам генерируются основной тон, шум, а затем пропускаются через гребенку полосовых фильтров для восстановления огибающей спектра речевого сигнала.
- По принципу определения параметров фильтровой функции различают вокодеры:
  - - полосные (канальные);
  - - формантные;
  - - ортогональные.

В полосных вокодерах спектр речи делится на 7 - 20 полос (каналов) аналоговыми или цифровыми полосовыми фильтрами. Большое число каналов в вокодере дает большую натуральность и разборчивость. С каждого полосового фильтра сигнал поступает на детектор для определения среднего уровня.

В формантных вокодерах огибающая спектра речи описывается комбинацией формант (резонансных частот голосового тракта). Основные параметры формант - центральная частота, амплитуда и ширина спектра.

В ортогональных вокодерах огибающая мгновенного спектра разлагается на составные части в ряд по выбранной системе ортогональных базисных функций. Рассчитанные коэффициенты этого расписания передаются на приемную сторону. Распространение получили гармонические вокодеры, которые используют расписание в ряд Фурье.

Рассмотренные вокодеры обеспечивают сжатие сигнала до 1200-4800 Бит/с, позволяя восстановить в декодере частоту основного тона с дискретностью в несколько герц и с невысокой точностью огибающую спектра сигнала с периодом изменения 16-40 мс, при этом даже при достаточно высокой разборчивости речи теряются многие индивидуальные особенности диктора.

Из-за сложности определения параметров генераторной функции появились полувокодеры (Voice Excited Vocoder, VEV), в которых вместо сигналов основного тона используется полоса речевого сигнала до 800 - 1000 Гц, которая кодируется, например, АДИКМ, и вместо характеристик основного тона передается на выход кодера. Такой алгоритм позволяет сжать речь до 4800-9600 бит/с, сохраняя генераторную функцию гортани (частоту и закон изменения основного тона) диктора.

## 2. Кодирование источников дискретных сообщений: равномерные коды, неравномерные коды.

### Равномерные коды

Как следует из определения, простые равномерные коды состоят из комбинаций одинаковой длины.

На практике, как правило, знаки сообщения неравновероятны, а также не выполняется условие  $m = 2^n$ , Поэтому равномерные коды имеют  $R \neq 0$ , т.е. скорость их практически всегда ниже максимально возможной. Далее будет показано, что в ряде случаев с помощью неравномерного кода можно получить большую старость передачи. Однако, тот факт, что каждая кодовая комбинация в равномерных кодах имеет одинаковое количество двоичных элементов, позволяет получать простые правила кодирования и декодирования и, соответственно, простую техническую реализация кодирующих и декодирующих устройств.

Кроме того, за счет простых способов определения на приемной стороне начала и конца каждой кодовой комбинации, что является необходимым условием однозначного декодирования, помехоустойчивость равномерных кодов достаточно высокая. Важным фактором является также то, что простые равномерные коды легко преобразуются в корректирующие коды для повышения достоверности информации. Все это привело к тому, что равномерные коды получили широкое применение на практике.

Для расширения возможностей равномерных кодов используют следующие меры. Например, число русских букв, цифр и знаков препинания составляет 53, что требует применения 6-элементных кодовых комбинаций ( $6^6 > \log_2 53$ ). Поэтому все множество знаков разбивается на два множества (регистра): буквенный и цифровой, что позволяет использовать 5-элементные кодовые комбинации. Для правильного декодирования вводятся специальные комбинации, указывающие о переходе с одного регистра на другой.

Современные отечественные телеграфные аппараты имеют три регистра: русский, латинский и цифровой.

Увеличение алфавита может быть достигнуто за счет того, что кодируются не только отдельные буквы (цифры), а и целые слова и даже отдельные фразы. Естественно - это вызывает необходимость увеличения числа регистров при использовании того же 5-элементного равномерного кода.

#### Неравномерные коды

Как отмечалось выше, неравномерными кодами называют такие коды, которые содержат разное число элементов.

Эти коды, как и равномерные коды, с точки зрения скорости передачи информации могут оцениваться величиной информационной нагрузки каждого двоичного символа:

$$R = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m p_i \log_2 \frac{1}{p_i}, \quad (1.7)$$

где  $\bar{n} = \sum_{i=1}^m n_i \cdot p_i$  - средняя длина кодовой комбинации;

$n_i$  - длина комбинации, соответствующей  $i$ -му символу сообщения;

$p_i$  - вероятность появления  $i$ -го символа в сообщении.

Если более вероятным символам сообщения сопоставить более короткие кодовые комбинации и наоборот, то средняя длина кодовой комбинации будет меньше, т.е. скорость передачи информации таким кодом будет выше.

Такие коды называют оптимальными. Если символы сообщения резко неравновероятны, то, сделав код оптимальным, иногда можно увеличить скорость по сравнению с равномерным кодом.

При построении неравномерных кодов необходимо учитывать требование однозначного декодирования сообщения, первым этапом которого является правильное определение

начала и конца каждой кодовой комбинации. Этого можно достичь, если между комбинациями ставить специальные разделительные группы или использовать неприводимые коды. Неприводимость кодов заключается в том, что в них из более длинной комбинации нельзя составить более короткие комбинации. В настоящее время разработан целый ряд неприводимых кодов.

Примером неприводимого кода может служить код, состоящий из следующих комбинация:

11, 10, 011, 001, 000, 00001, 000001

Неприводимость этого кода заключается в том, что короткие кодовые комбинация не могут быть началом более длинных кодовых комбинаций и, следовательно, любая двоичная последовательность однозначно разбивается на указанные кодовые комбинации.

Необходимо отметить, что применение оптимальных неравномерных кодов не всегда будет обеспечивать большую скорость передачи по сравнению с равномерным кодом. Предпосылкой получения более высокой скорости передачи путем применения неравномерного кода может служить заметная неравновероятность символов сообщения и хорошая согласованность выбранного неравномерного кода со статистической структурой сообщения.

3. Методы эффективного кодирования источников: кодирование по методу Шеннона-Фано, кодирование по методу Хаффмана.

#### Кодирование методом Шеннона-Фано

Алгоритм метода Шеннона-Фано — один из первых алгоритмов сжатия, который впервые сформулировали американские учёные Шеннон и Фано, и он имеет большое сходство с алгоритмом Хаффмана. Алгоритм основан на частоте повторения. Так, часто встречающийся символ кодируется кодом меньшей длины, а редко встречающийся — кодом большей длины.

В свою очередь, коды, полученные при кодировании, префиксные. Это и позволяет однозначно декодировать любую последовательность кодовых слов. Но все это вступление.

Для работы оба алгоритма должны иметь таблицу частот элементов алфавита.

Итак, алгоритм Хаффмана работает следующим образом:

1. На вход приходят упорядоченные по невозрастанию частот данные.
2. Выбираются две наименьших по частоте буквы алфавита, и создается родитель (сумма двух частот этих «листков»).
3. Потомки удаляются и вместо них записывается родитель, «ветви» родителя нумеруются: левой ветви ставится в соответствие «1», правой «0».
4. Шаг два повторяется до тех пор, пока не будет найден главный родитель — «корень».

Алгоритм Шеннона-Фано работает следующим образом:

1. На вход приходят упорядоченные по невозрастанию частот данные.



2. Находится середина, которая делит алфавит примерно на две части. Эти части (суммы частот алфавита) примерно равны. Для левой части присваивается «1», для правой «0», таким образом мы получим листья дерева
3. Шаг 2 повторяется до тех пор, пока мы не получим единственный элемент последовательности, т.е. листок

#### 4. Классификация помехоустойчивых кодов.

В настоящее время существует ряд разновидностей помехоустойчивых кодов, обеспечивающих высокую достоверность при малой величине избыточности и простоте технической реализации кодирующих и декодирующих устройств (рис. 2.4).

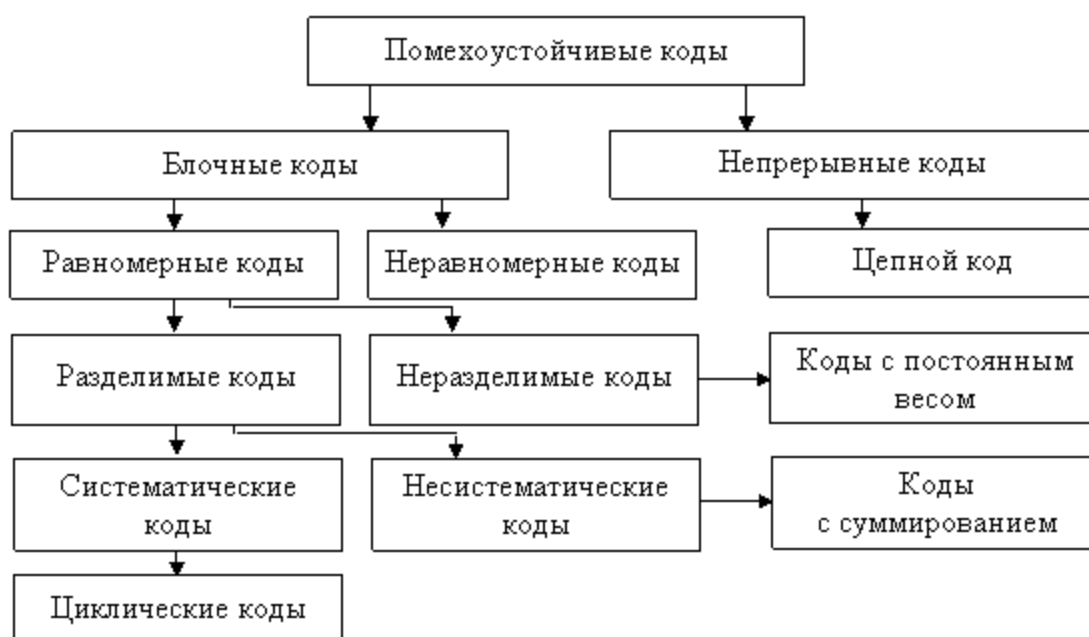


Рис. 2.4. Классификация помехоустойчивых кодов

**Блочными кодами** называют такие коды, в которых каждому сообщению ставится в соответствие блок из  $n$  символов. Блочный код называется **равномерным**, если число символов постоянно для всех сообщений. В противном случае код считается неравномерным.

**Непрерывные коды** характеризуются тем, что введение избыточности в последовательность входных символов осуществляется без разбивки ее на отдельные блоки. Процессы кодирования и декодирования в непрерывных кодах носят также непрерывный характер.

Блочные коды называются **разделимыми**, если проверочные символы в них размещаются на заранее известных позициях кодового слова. Такие коды иногда обозначают буквами  $(n, n_0)$ , где  $n$  – длина блока, а  $n_0$  – число информационных символов в блоке. Благодаря простоте выделения информационной части блочные разделимые коды получили наибольшее распространение. В неразделимых кодах разделение информационной и проверочной части невозможно, что затрудняет декодирование, особенно при

необходимости исправления ошибок. К таким кодам относятся коды с постоянным весом и некоторые другие.

## **1. 5 Лекция № 11-12 (4 часа).**

**Тема:** «Цифровые системы передачи информации»

### **1.5.1 Вопросы лекции:**

1. Амплитудная модуляция (аналоговая) (АМ).
2. Фазовая и частотная аналоговая модуляции (ФМ, ЧМ).
3. Амплитудная импульсная модуляция (АИМ). Амплитудная манипуляция (АМн).

### **1.5.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Амплитудная модуляция (аналоговая) (АМ).

— вид модуляции, при которой изменяемым

параметром несущего сигнала является его амплитуда.

Первые опыты передачи речи и музыки с помощью радиоволн методом амплитудной модуляции произвёл в 1906 году американский инженер Р. Фессенден. В его опытах несущая частота 50 кГц радиопередатчика вырабатывалась электромашинным генератором (альтернатором), для её модуляции между генератором и антенной включался угольный микрофон, изменяющий затухание сигнала в цепи.

С 1920 года вместо электромашинных генераторов для генерации несущей частоты стали использоваться генераторы на электронных лампах. Во второй половине 1930-х годов, по мере освоения ультракоротких волн, амплитудная модуляция постепенно начала вытесняться из радиовещания и радиосвязи на УКВ частотной модуляцией.

С середины XX века в служебной и любительской радиосвязи на всех частотах начали применять модуляцию с одной боковой полосой (ОБП), которая имеет ряд важных преимуществ перед АМ, главное из которых - сужение в 2 раза полосы частот, занимаемой радиосигналом. В связи с этим предлагалось перевести на ОБП и массовое радиовещание, однако это потребовало бы замены всех радиовещательных приёмников на более сложные и дорогие, поэтому это не было осуществлено.

В конце XX века начался переход к цифровому радиовещанию с использованием сигналов с амплитудной манипуляцией

амплитудная модуляция (amplitude modulation, АМ) исторически была первым видом модуляции, освоенным на практике. В настоящее время АМ применяется в основном только для радиовещания на сравнительно низких частотах (не выше коротких волн) и для передачи изображения в телевизионном вещании. Это обусловлено низким КПД использования энергии модулированных сигналов.

АМ соответствует переносу информации  $s(t)$  Ю  $U(t)$  при постоянных значениях параметров несущей частоты  $\omega$  и  $j$ . АМ – сигнал представляет собой произведение

информационной огибающей  $U(t)$  и гармонического колебания ее заполнения с более высокими частотами. Форма записи амплитудно-модулированного сигнала:

$$u(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + j_0), \quad (9.1.1)$$

$$U(t) = U_m [1 + M s(t)], \quad (9.1.2)$$

где  $U_m$  – постоянная амплитуда несущего колебания при отсутствии входного (модулирующего) сигнала  $s(t)$ ,  $M$  – коэффициент амплитудной модуляции

Значение  $M$  характеризует глубину амплитудной модуляции. В простейшем случае, если модулирующий сигнал представлен одночастотным гармоническим колебанием с амплитудой  $S_0$ , то коэффициент модуляции равен отношению амплитуд модулирующего и несущего колебания  $M = S_0/U_m$ . Значение  $M$  должно находиться в пределах от 0 до 1 для всех гармоник модулирующего сигнала. При значении  $M < 1$  форма огибающей несущего колебания полностью повторяет форму модулирующего сигнала  $s(t)$ , что можно видеть на рис. 9.1.1 (сигнал  $s(t) = \sin(\omega_s t)$ ). Малую глубину модуляции для основных гармоник модулирующего сигнала ( $M \ll 1$ ) применять нецелесообразно, т.к. при этом мощность передаваемого информационного сигнала будет много меньше мощности несущего колебания, и мощность передатчика используется неэкономично.

## 2. Фазовая и частотная аналоговая модуляции (ФМ, ЧМ).

— один из видов модуляции, при которой фаза несущего колебания управляется информационным сигналом. Фазомодулированный сигнал  $s(t)$  имеет следующий вид:

$$s(t) = g(t) \sin[2\pi f_c t + \varphi(t)],$$

где  $g(t)$  — огибающая сигнала;  $\varphi(t)$  является модулирующим сигналом;  $f_c$  — частота несущего сигнала;  $t$  — время.

Фазовая модуляция, не связанная с начальной фазой несущего сигнала, называется относительной фазовой модуляцией (ОФМ).

В случае, когда информационный сигнал является дискретным, то говорят о фазовой манипуляции. Хотя, строго говоря, в реальных изделиях манипуляции не бывает, так как для сокращения занимаемой полосы частот манипуляция производится не прямоугольным импульсом, а колоколообразным (приподнятым косинусом и др.). Несмотря на это, при модуляции дискретным сигналом говорят только о манипуляции.

По характеристикам фазовая модуляция близка к частотной модуляции. В случае синусоидального модулирующего (информационного) сигнала, результаты частотной и фазовой модуляции совпадают.

Поскольку сети связывают цифровые компьютеры, по каналу связи необходимо передавать дискретные данные. Соответственно, при использовании аналоговых сигналов необходимо некоторое превращение (кодировка) переданных данных этими сигналами. Такое превращение называется **аналоговой модуляцией** (или аналоговой кодировкой). В его основе лежит изменение одной из характеристик синусоидального несущего сигнала в соответствии с последовательностью переданных данных. Основные способы аналоговой модуляции: амплитудная, частотная и фазовая.

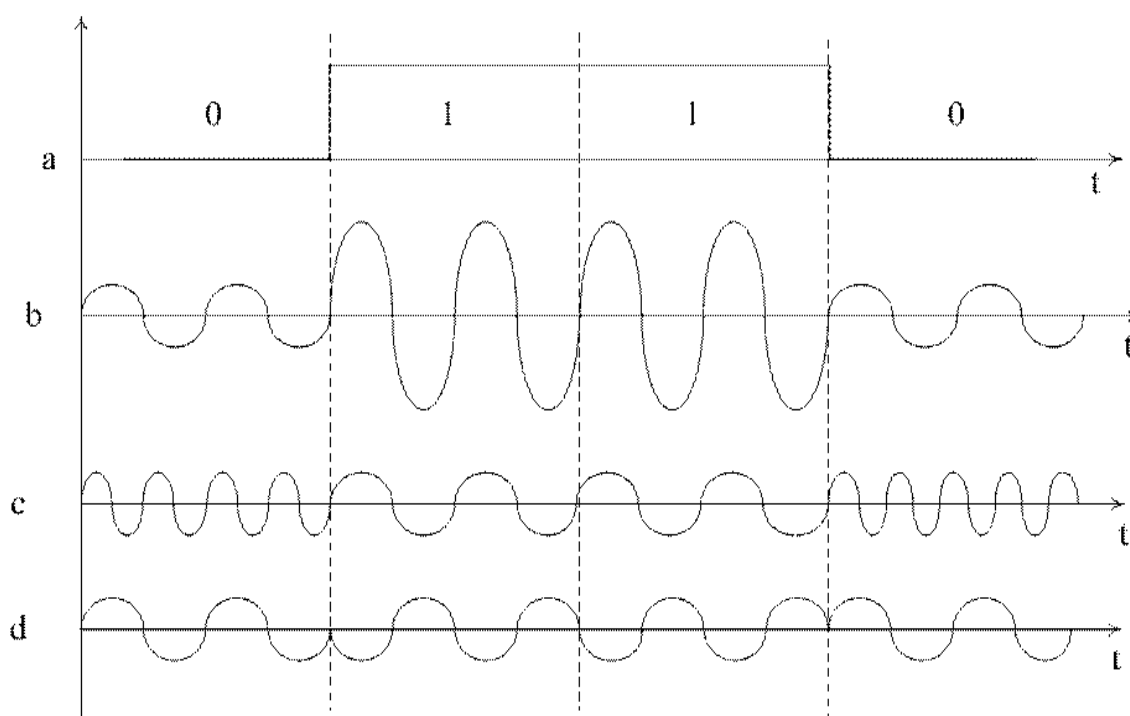
Возможно также использование комбинированных методов, например, соединения амплитудной и фазовой модуляций.

При **амплитудной** модуляции (рис. 1 б) изменяется только амплитуда синусоиды несущей частоты, при передаче логической единицы выдается синусоида одной амплитуды, а при передаче логического нуля – другой амплитуды. Этот способ в чистом виде имеет низкую ошибкоустойчивость и применяется редко.

При **частотной** модуляции (рис. 1 с) изменяется только частота несущей – для логической единицы и логического нуля выбираются синусоиды двух разных частот. Этот способ достаточно просто реализовать, и часто применяется при низкоскоростной передаче данных.

При **фазовой** модуляции (рис. 1 d) логической единице и логическому нулю отвечают сигналы одинаковой амплитуды и частоты, но отличаются по фазе (например, 0 и 180 градусов).

Из комбинированных методов широко используются методы **квадратурной амплитудной модуляции** (*Quadrature Amplitude Modulation, QAM*), которые соединят амплитудную модуляцию с 4 уровнями амплитуды и фазовую модуляцию с 8 значениями сдвига фазы. Из 32 возможных комбинаций амплитуды и сдвига фазы для передачи данных в разных модификациях метода используются всего некоторые, в то время, как все другие комбинации являются запрещенными, что позволяет улучшить распознавание ошибочных сигналов.



### 3. Амплитудная импульсная модуляция (АИМ). Амплитудная манипуляция (АМн).

— изменение сигнала, при котором скачкообразно меняется амплитуда несущего колебания.

Телеграфные сигналы — азбуку Морзе — чаще всего передают при помощи амплитудной манипуляции. В передатчике этот метод реализуется наиболее просто по сравнению с другими видами манипуляции (в простейшем случае — просто включается и выключается питание передатчика). Приёмник для приёма телеграфных сигналов на слух, напротив, несколько усложняется: в нем должен присутствовать гетеродин, работающий на частоте, близкой к частоте принимаемого сигнала, чтобы на выходе приёмника можно было выделить разностную звуковую частоту. Пригодны приёмники прямого преобразования, регенеративные в режиме генерации и супергетеродинные с дополнительным «телеграфным» гетеродином. На раннем этапе развития радио телеграфный сигнал принимали надетекторные приемники с подключенным к выходу зуммером или подобным устройством.

Амплитуда высокочастотного сигнала на выходе радиопередатчика принимает только два значения: максимальное и нулевое. Соответственно, включение или выключение («ключевание») выполняется оператором с помощью телеграфного ключа или с помощью автоматического формирователя телеграфных посылок (датчика кода Морзе, компьютера). Огибающая радиоимпульса (элементарной посылки — точки и тире) на практике, естественно, не прямоугольная (как это показано схематично на рисунке), а имеет плавные передний и задний фронты. В противном случае частотный спектр сигнала может стать недопустимо широким, а при приёме сигнала на слух ощущаются неприятные щелчки.

Однако аналоговая манипуляция редко используется на практике, т.к. она наименее устойчива к воздействию внешних помех из всех. Так, например небольшая и кратковременная импульсная помеха (наиболее распространенный из всех видов помех) может повлечь целую пачку ошибочно принятых символов. Обычно аналоговая манипуляция применяется в сочетании с другими видами манипуляции и не используется сама по себе.

Амплитудная манипуляция нашла применение в оптических каналах связи, т.к. они гораздо меньше подвержены амплитудным помехам. При этом под амплитудой в оптическом сигнале понимается сила света. Таким образом, наличие или отсутствие светового импульса будет соответствовать двум значениям цифрового потока.

## **1. 6 Лекция № 13-14 (4 часа).**

**Тема:** «Системы телефонной, телеграфной, сотовой связи»

### **1.6.1 Вопросы лекции:**

1. Особенности систем передачи речи.
2. Кодирование формы волны.
3. Телеграфные коды.

#### 4. Принцип повторного использования частот.

### 1.6.2 Краткое содержание вопросов:

#### 1. Особенности систем передачи речи.

В случае акустических данных (голоса) информацию можно представить непосредственно с помощью электромагнитного сигнала, имеющего такой же спектр. Впрочем, существует необходимость нахождения компромисса между точностью воспроизведения звука, передаваемого электрическими средствами и стоимостью самой передачи, повышающейся при увеличении ширины полосы. Спектр речевого сигнала находится в диапазоне приблизительно от 100 Гц до 4 кГц, хотя и более узкая полоса также даст приемлемое воспроизведение речи. Стандартным для звукового канала является спектр от 300 до 3400 Гц. Этого достаточно для передачи речи, также такой выбор сводит к минимуму требуемую пропускную способность передачи и позволяет использовать достаточно недорогие телефонные аппараты. Телефонный микрофон преобразует входящий акустический сигнал в электромагнитный сигнал, находящийся в диапазоне от 300 до 3400 Гц. Затем этот сигнал передается через телефонную сеть приемнику, который и воспроизводит его как акустический сигнал.

Важнейшее преимущество цифровой связи состоит в том, цифровая техника позволяет обеспечить любое наперед заданное качество связи. Для цифровой передачи речи необходимо произвести аналого-цифровое преобразование речевого сигнала: подвергнуть аналоговый сигнал дискретизации, квантованию и кодированию. Совокупность этих операций называется импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ). Для точного описания формы речевого сигнала, согласно теореме Котельникова, его дискретизацию приходится проводить с частотой 8 кГц (т. е. брать отсчеты через каждые 125 мкс), а для получения нормального качества воспроизведения речи квантовать каждый отсчет по шкале, разбитой на 8192 уровня (при выборе равномерной шкалы квантования). Чтобы закодировать каждое значение отсчета с помощью двоичного числа, потребуется 13 разрядов. В результате для передачи телефонного разговора с помощью последовательности двоичных импульсов необходима скорость  $8 \times 13 = 104$  кбит/с (что соответствует при оптимальном кодировании полосе частот 52 кГц). Сравнивая это число с полосой частот в 3100 Гц, которая требуется для аналоговой передачи, нельзя не поразиться колоссальному росту необходимой полосы, которым приходится расплачиваться за преимущества цифровой передачи. Естественно попытаться при реализации цифровой системы передачи понизить скорость передачи.

Первый шаг в этом направлении довольно очевиден. Квантование на  $2^{13}$  уровней оказывается необходимым потому, что уровни аналоговых речевых сигналов могут изменяться в диапазоне 60 дБ. При этом сигналы высокого уровня при равномерной шкале квантования квантуются с таким же шагом, что и сигналы низкого уровня. Однако человеческая речь характеризуется уникальными статистическими свойствами, одно из которых проиллюстрировано на рисунке 6.1. На оси абсцисс отложены амплитуды сигнала, нормированные на среднеквадратическое значение величины таких амплитуд в типичном канале связи, а на оси ординат – вероятность. Для большинства каналов речевой связи доминируют очень низкие тона; 50% времени напряжение, характеризующее энергию обнаруженной речи, составляет менее четверти среднеквадратического значения. Значения с большими амплитудами встречаются довольно редко; только 15% времени

напряжение превышает среднеквадратическое значение. Поэтому можно сделать вывод о том, что так как восприятие сигналов органами слуха человека пропорционально логарифму уровня сигнала, то естественно было бы сигналы высокого уровня квантовать более грубо, а низкого уровня - более точно. Применяя нелинейное квантование с использованием логарифмического закона, можно обойтись восемью разрядами на отсчет, сохранив почти такое же качество передачи. В результате скорость передачи двоичных разрядов окажется равной 64 кбит/с. Именно эта скорость получила самое широкое распространение, она зафиксирована в рекомендации МККТТ С.711, и на ней работает аппаратура ИКМ во многих странах.

Аналоговый сигнал имеет большую избыточность. Это позволяет предсказывать очередной отсчет и передавать только разницу между фактическим и предсказанным значением каждого отсчета. Если применить хорошую схему предсказания, изменение амплитуды приращения сигнала окажется меньше изменения амплитуды самого сигнала, что приведет к уменьшению количества передаваемой информации. На этом принципе строится дифференциальная ИКМ (ДИКМ) и адаптивная дифференциальная ИКМ (АДИКМ), которая позволяет понизить скорость передачи речи до 32 кбит/с и ниже за счет дальнейшего усложнения приемопередающей аппаратуры. Продолжая усложнять аппаратуру, можно довести скорость передачи речи до 100-300 бит/с. Можно представить себе, например, на передающей стороне преобразователь речи в текст, а на приемной стороне - читающую машину. Известны пути дальнейшего снижения скорости передачи речи, но не будем на этом останавливаться. Дело в том, что аппаратура цифровой передачи речи со скоростью 64 кбит/с всех удовлетворила потому, что она оказалась работоспособной при использовании самых простых симметричных кабелей с парной скруткой. Аппаратура ИКМ-30 начала свое триумфальное шествие с уплотнения соединительных линий между городскими телефонными станциями. Там, где раньше по кабельной паре можно было организовать соединительную линию для передачи лишь одного разговора, аппаратура ИКМ-30 позволила организовать по этой же паре передачу 30 разговоров. О лучшем использовании такой пары с помощью аналоговой аппаратуры многоканальной связи не могло быть и речи. Позднее появились аппаратура ИКМ-120 и другие высокопроизводительные системы, работающие по коаксиальным кабелям и волоконным световодам, и острота вопроса об уменьшении скорости передачи разговорных сигналов ниже 64 кбит/с в сетях проводной связи практически была снята. Даже многочисленные разработки аппаратуры цифровой передачи со скоростью 32 кбит/с, реализованные во многих странах на основе принципа АДИКМ, не получили достаточно широкого применения. Баланс между увеличением пропускной способности каналаобразующей аппаратуры и сложностью оконечного оборудования в проводной связи пока так и не склонился в пользу первого решения.

## 2. Кодирование формы волны.

В основном, устройства кодирования/декодирования сигнала по форме разрабатываются таким образом, чтобы быть независимыми от сигнала. Они направляют входящую волну в кодирующее устройство, на выходе же из декодирующего устройства мы получаем подобный факсимильному образ этой волны. Эффективность такого кодирования достаточно скромна. Эффективность кодирования по форме волны может быть улучшена разработкой некоторых статистических качеств сигнала в случае, если параметры кодирующего/декодирующего устройства оптимизируются таким образом, чтобы подходить для наиболее типичных категорий входящих сигналов, в то же время поддерживая достаточно хорошее качество обслуживания для других типов сигналов

также. Кодеки по форме волны далее подразделяются на кодеки по форме волны во временной области и на кодеки по форме волны в частотной области.

Кодирование по форме волны во временной области.

Хорошо известное представление речевого сигнала с использованием кодирования по форме волны во временной области является компандированной импульсно-кодовой манипуляцией (PCM) на скорости 64 кбит/с функции вида "А" (в Европе) или функции вида j (в Северной Америке). В обеих функциях используется нелинейное компандирование характеристик для получения фактически постоянного соотношения сигнал/шум (SNR) по всему выходу динамического диапазона.

Адаптивный дифференциальный кодек с использованием импульсно-кодовой манипуляции (ADPCM) ITU G.721.32, работающий на скорости 32 кбит/с, является примером кодека по форме волны во временной области. Более гибкими эквивалентами G.721 являются кодеки G.726 и G.727. Кодек G.726 - это устройство с переменной скоростью от 16 до 40 кбит/с. Это может быть выгодно в различных случаях сетевого применения для возможности регулировки качества речевого сигнала и скорости передачи данных на основе мгновенных требований. В кодеке G.727 используются основные и улучшенные биты для возможности упущения улучшенных битов при ограниченных условиях работы сети и получения улучшенного качества обслуживания при небольшой нагрузке сети.

В дифференциальных кодеках используется линейная комбинация последних нескольких выборок для генерирования оценочного значения текущей выборки, что имеет место в адаптивном предсказателе. Получающийся в результате разностный сигнал (т.е. предсказываемый остаток) исчисляется и кодируется адаптивным квантователем с уменьшением числа битов по сравнению с первоначальным сигналом, поэтому он обладает меньшей изменчивостью по сравнению с входящим сигналом. Для скорости выборки 8000 выборок в секунду 8-битная выборка импульсно-кодовой манипуляции (PCM) представляется как 4-битная выборка ADPCM для получения скорости передачи 32 кбит/с.

Устройства кодирования/декодирования по форме волны во временной области кодируют речевой сигнал как полудиапазонный сигнал и преобразуют его для получения как можно более похожей копии на выходе. Разница между разнообразными схемами кодирования состоит в способе использования предсказания для уменьшения изменчивости сигнала с целью уменьшения количества битов, необходимых для представления волны в закодированной форме.

Кодирование по форме волны в частотной области.

В устройствах кодирования/декодирования по форме волны в частотной области входной сигнал подвергается кратковременному спектральному анализу. Сигнал расщепляется на несколько поддиапазонов по частоте. Индивидуальные поддиапазоны затем кодируются с использованием различного количества битов для соблюдения требований качества передаваемого сигнала в зависимости от степени их выделения. Разнообразные схемы различаются степенью точности спектрального анализа и принципу расположения битов (фиксированный, адаптивный, полуадаптивный). Два хорошо известных представителя данного класса - это поддиапазонное кодирование (SBC) и адаптивное трансформационное кодирование (ATC).

### 3. Телеграфные коды.

При передаче сообщения по телеграфной связи каждый знак сообщения преобразуется в комбинацию токовых и бестоковых посылок или посылок тока разного направления.

Такая комбинация называется кодовой. Процесс замены передаваемого знака соответствующими кодовыми комбинациями, называется кодированием. Таблица



соответствия кодовых комбинаций передаваемым знакам называется кодом. Все дискретные сообщения преобразуются в электрический сигнал с помощью определённых кодов. Эти коды называют первичными. Затем для повышения помехоустойчивости используют вторичные избыточные коды, которые формируются с помощью первичных, т.е. из комбинаций первичного составляется определённый блок, определяются с помощью математических преобразований проверочные разряды, а затем из проверочных и информационных формируется блок избыточного вторичного кода. Первым стандартизованным электрическим телеграфным кодом был код Морзе - знаки передавались с помощью посылок электрического тока различной длительности - точек и тире. Самая короткая посылка - точка, длительностью  $t_0$ , из которой составляются все кодовые комбинации, называется элементарной телеграфной посылкой. Длительность тире равна длительности трех элементарных телеграфных посылок  $3 t_0$ . Этот код неравномерный, так как для передачи различных знаков необходимо неравное количество элементарных посылок.

Равномерный код характеризуется тем, что для передачи любого знака используется комбинация из равного количества элементарных телеграфных посылок. Любой из равномерных кодов, комбинация которого формируется из двух значений посылок: токовой и бестоковой, или тока одного направления и тока другого направления называются двоичным или бинарным. Число значений тока, который приобретает элементарная посылка в процессе передачи, называется основанием кода. Возможное число кодовых комбинаций  $A$  для равномерного двоичного кода  $n$ -элементного, определяется выражением:

$$A = m^n$$

где  $m$  - основание кода.

При использовании пятиэлементного кода для передачи телеграфного сообщения недостаточно 32 кодовых комбинаций. Количество кодовых комбинаций можно увеличить двумя путями: увеличением числа элементов в кодовой комбинации, или введением регистров. При этом необходимое количество символов делится на регистры (два или один): русский, латинский, цифровой. При этом разные знаки находятся в разных регистрах, передаются одной и той же кодовой комбинацией, но перед её передачей даётся сигнал, соответствующий регистру, в котором находится передаваемый знак. Недостатком регистровых кодов является снижение доступности передачи сообщения, т.е. исполнение одной регистровой комбинации вызывает неверную дешифрацию следующей за ней кодовой комбинации. С введением многоэлементных кодов возрастает длительность комбинаций, следовательно уменьшается количество сообщений, переданных в единицу времени.

Международный код МТК-2 пятиэлементный, трехрегистровый. Токовая посылка обозначена 1, бестоковая - 0. Например, кодом МТК-2 знак (символ) А запишется - 11000, а символ Н - 01010.

МТК-5 - семиэлементный, двухрегистровый.

В кодах для обмена информацией в системах обработки данных предусмотрены группы управляющих и графических символов. В группу графических символов входят цифры, прописные и строчные буквы и специальные знаки. Из всей совокупности символов ГОСТ устанавливает пять наборов Н0-Н4. Все наборы включают управляющие символы, цифры и специальные знаки. Набор Н0 включает прописные и строчные латинские буквы. Набор Н1 содержит только русские буквы. Все установленные символы включает Н3. Набор Н4 содержит только цифры, специальные знаки и управляющие символы.

Код КОИ - 7 имеет три набора: КОИ - 7Н1, КОИ - 7Н0, КОИ - 7С1 - код дополнительных служебных символов.

Структура кодов полного набора Н0, Н1 представляет собой матрицу из восьми столбцов и шестнадцати строк. Каждую из 128 кодовых комбинаций матрицы, благодаря нумерации столбцов от 0 до 7 и строк от 0 до 15, обозначают наименованием набора и

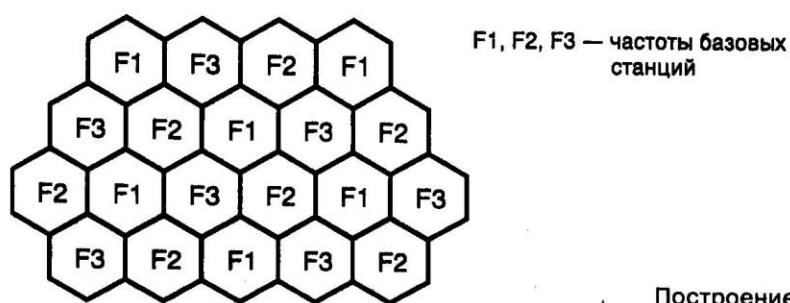
дробным числом: числитель - номер столбца, знаменатель - номер строки. Например,  $\frac{4}{5}$  соответствует латинской букве «Е». Кроме дробного числа любой символ таблицы даётся в виде кодовой комбинации, обозначенной  $b_7 b_6 b_5 b_4 b_3 b_2 b_1$ , в которой бит с индексом указывает порядковый номер бита кодовой комбинации. Три старших бита ( $b_7 b_6 b_5$ ) изображены над порядковым номером столбца кодовой таблицы, а остальные четыре ( $b_4 b_3 b_2 b_1$ ) - на уровне порядкового номера строки. При последовательной передаче в линию комбинация идёт с младшего бита.

Стандартный код передачи данных СКПД - восьмиэлементный, двухрегистровый. Кроме семи информационных разрядов в состав комбинации входит восьмой разряд, являющийся служебным. Значение восьмого разряда выбирается таким, чтобы общее количество единиц в кодовой комбинации было чётным. Это обеспечивает простейшую защиту от ошибок.

Все равномерные коды являются избыточными. Это значит, что число двоичных символов, используемых для кодирования сообщения, всегда больше количества информации в этом сообщении. Процедура, направленная на устранение избыточности в передаваемом сообщении, называется эффективным или статистическим кодированием источника. Эффективный код всегда является неравномерным. Символам алфавита с большой вероятностью появления будут соответствовать короткие кодовые слова, символам с малой вероятностью появления - длинные кодовые слова. Задача состоит в выборе таких правил кодирования, чтобы число двоичных символов кода, требуемых на один символ источника, было по возможности меньшим.

#### 4. Принцип повторного использования частот.

Каждая из ячеек обслуживается своим передатчиком с невысокой выходной мощностью и ограниченным числом каналов связи. Это позволяет без помех использовать повторно частоты каналов этого передатчика в другой, удаленной на значительное расстояние, ячейке. Теоретически такие передатчики можно использовать и в соседних ячейках. Но на практике зоны обслуживания сот могут перекрываться под действием различных факторов, например, вследствие изменения условий распространения радиоволн. Поэтому в соседних ячейках используются различные



Построение сот для трех частот

частоты.

Группа сот с различными наборами частот называется кластером. Определяющим его параметром является количество используемых в соседних сотах частот. На рис1, например, размерность кластера равна трем. Но на практике это число может достигать пятнадцати.

Основной идеей, на которой базируется принцип сотовой связи, является повторное использование частот в несмежных сотах. Первым способом организации повторного использования частот, который применялся в аналоговых системах сотовой подвижной связи первого поколения, был способ, использующий антенны базовых станций с

круговыми диаграммами направленности. Он предполагает передачу сигнала одинаковой мощности по всем направлениям, что для абонентских станций эквивалентно приему помех от всех базовых станций со всех направлений.

Базовые станции, на которых допускается повторное использование выделенного набора частот, удалены друг от друга на расстояние  $D$ , называемое "защитным интервалом". Именно возможность повторного применения одних и тех же частот определяет высокую эффективность использования частотного спектра в сотовых системах связи.

Смежные базовые станции, использующие различные наборы частотных каналов, образуют группу из  $C$  станций. Если каждой базовой станции выделяется набор из  $m$  каналов с шириной полосы каждого  $E$ , то общая ширина полосы, занимаемая системой сотовой связи, составит  $F_c = E m C$ .

Таким образом, величина  $C$  определяет минимально возможное число каналов в системе, поэтому ее часто называют частотным *параметром* системы, или *коэффициентом повторения частот*. Коэффициент  $C$  не зависит от числа каналов в наборе и увеличивается по мере уменьшения радиуса ячейки. Таким образом, при использовании ячеек меньших радиусов имеется возможность увеличения повторяемости частот.

Применение шестиугольных ячеек позволяет минимизировать ширину необходимого частотного диапазона, поскольку такая форма обеспечивает оптимальное соотношение между величинами  $C$  и  $D$ . Кроме того, шестиугольная форма наилучшим образом вписывается в круговую диаграмму направленности антенны базовой станции, установленной в центре ячейки.

Остановимся более подробно на вопросе выбора размера ячейки (радиуса  $R$ ). Эти размеры определяют защитный *интервал*  $B$  между ячейками, в которых одни и те же частоты могут быть использованы повторно. Заметим, что величина защитного интервала  $D$ , кроме уже перечисленных факторов, зависит также от допустимого уровня помех и условий распространения радиоволн. В предположении, что интенсивность вызовов в пределах всей зоны одинакова, ячейки выбираются одного размера. Размер зоны обслуживания базовой станции, выражаемый через радиус ячейки  $R$ , определяет также число абонентов  $N$ , способных одновременно вести переговоры на всей территории обслуживания. Следовательно, уменьшение радиуса ячейки позволяет не только повысить эффективность использования выделенной полосы частот и увеличить абонентскую емкость системы, но и уменьшить мощность передатчиков и чувствительность приемников базовых и подвижных станций. Это, в свою очередь, улучшает условия электромагнитной совместимости средств сотовой связи с другими радиоэлектронными средствами и системами.

Эффективным способом снижения уровня помех может быть использование направленных секторных антенн с узкими диаграммами направленности. В секторе такой направленной антенны сигнал излучается преимущественно в одну сторону, а уровень излучения в противоположном направлении сокращается до минимума. Деление сот на секторы позволяет чаще применять частоты в сотах повторно. Общеизвестный способ повторного использования частот в организованных таким образом сотах основан на применении 3-секторных антенн для *каждой* базовой станции и трех соседних базовых станций с формированием ими девяти групп частот. В этом случае используются антенны с шириной диаграммы направленности  $120^\circ$ .

## **1. 7 Лекция №15-16 (4 часа).**

**Тема:** «Системы спутниковой связи. Волоконно-оптические системы связи»

### **1.7.1 Вопросы лекции:**

1. Системы спутниковой связи
2. Принцип радиорелейной связи.
3. Волоконно-оптические системы связи.

### **1.7.2 Краткое содержание вопросов:**

1. Принцип радиорелейной связи.

— один из видов наземной радиосвязи, основанный на многократной ретрансляции радиосигналов. Радиорелейная связь осуществляется как правило между стационарными объектами.

Исторически радиорелейная связь между станциями осуществлялась с использованием цепочки ретрансляционных станций, которые могли быть как активными, так и пассивными.

Отличительной особенностью радиорелейной связи от всех других видов наземной радиосвязи является использование узконаправленных антенн, а также дециметровых, сантиметровых или миллиметровых радиоволн.

Как правило под радиорелейной связью понимают именно радиорелейную связь прямой видимости.

При построении радиорелейных линий связи антенны соседних радиорелейных станций располагаются в пределах прямой видимости. Требование наличия прямой видимости обусловлено возникновением дифракционных замираний при полном или частичном закрытии трассы распространения радиоволн. Потери при дифракционных замираниях могут вызывать сильное ослабление сигнала, таким образом радиосвязь между соседними радиорелейными станциями станет невозможна. Поэтому для устойчивой радиосвязи антенны соседних радиорелейных станций как правило располагают на естественных возвышенностях или специальных телекоммуникационных башнях или мачтах таким образом, чтобы трасса распространения радиоволн не имела препятствий.

С учётом ограничения на необходимость наличия прямой видимости между соседними станциями дальность радиорелейной связи ограничена как правило 40 - 50 км.

При построении тропосферных радиорелейных линий связи используется эффект отражения дециметровых и сантиметровых радиоволн от турбулентных и слоистых неоднородностей в нижних слоях атмосферы — тропосфере.

Использование эффекта дальнего тропосферного распространения радиоволн УКВ диапазона позволяет организовать связь на расстояние до 300 км при отсутствии прямой видимости между радиорелейными станциями. Дальность связи может быть увеличена до 450 км при расположении радиорелейных станций на естественных возвышенностях.

Для тропосферной радиорелейной связи характерно значительное ослабление сигнала. Ослабление возникает как при распространении сигнала через атмосферу, так и вследствие рассеяния части сигнала при отражении от тропосферы. Поэтому для устойчивой радиосвязи как правило используют передатчики мощностью до 10 кВт, антенны с большой апертурой (до 30 x 30 м<sup>2</sup>), а значит, и большим коэффициентом усиления, а также высокочувствительные приёмники с малошумящими элементами.

Также для тропосферных радиорелейных линий связи характерно постоянное наличие быстрых, медленных и селективных замираний радиосигнала. Уменьшение влияния быстрых замираний на принимаемый сигнал достигается использованием разнесенного частотного и пространственного приёма. Поэтому на большинстве стационарных тропосферных радиорелейных станций расположено несколько приёмных антенн.

Примером наиболее известных и протяжённых тропосферных радиорелейных линий связи являются:

- ТППЛ «Север», «ACE High», «White Alice», «JASDF», линия «Дью», линии «NARS»;
- ТСУС «Барс»

## 2. Системы спутниковой связи.

Системы спутниковой связи можно рассматривать как особый вид радиорелейных линий связи, если антенну ретранслятора подвесить на опору, высота которой равна высоте орбиты спутника. В такой системе связи значительно увеличивается зона прямой видимости поверхности Земли, просматриваемой со спутника и, соответственно, размеры земной территории, с которой виден спутник в один и тот же момент времени.

Радиооборудование спутниковой системы связи, расположенное на спутнике, называют космической радиостанцией, а радиооборудование, расположенное на Земле, называют наземной радиостанцией. Канал передачи радиосигнала от наземной станции на спутник называют восходящим, а канал передачи сигналов в обратном направлении - нисходящим. На спутниках, помимо ретрансляционной аппаратуры, размещают также источники электропитания (солнечные батареи). Кроме того, на спутниках имеется оборудование, обеспечивающее стабилизацию положения спутников на орбите и ориентирование его в пространстве (антенны ретранслятора направляют в сторону Земли, солнечные батареи - в сторону Солнца).

Характеристики спутниковых систем связи в значительной степени зависят от параметров орбиты спутника. Орбита спутника - это траектория движения спутника в пространстве.

Физическое тело выходит на круговую орбиту вокруг Земли и становится ее спутником, если ему сообщить первую космическую скорость. В этом случае центростремительная сила, равная силе притяжения спутника Землей, уравнивается центростремительной силой, определяемой линейной скоростью спутника  $v$  и расстоянием между центрами масс Земли и спутника, равного  $R+h$ , где  $R$  - радиус Земли,  $h$  - высота спутника над поверхностью Земли.

Если спутнику сообщают скорость большую, чем первая космическая, то он будет двигаться по эллиптической орбите. Скорость спутника при движении по эллиптической орбите непрерывно изменяется от наименьшего значения в точке максимального удаления от Земли (апогей) до максимального значения в точке наибольшего сближения с Землей (перигей).

Орбиты могут проходить в любом направлении вокруг земного шара, но плоскость орбиты будет проходить через центр Земли. Орбиты могут быть классифицированы по различным признакам.

Орбиты различают по взаимному расположению плоскости орбиты спутника и плоскости земного экватора. Если плоскость орбиты спутника совпадает с плоскостью экватора Земли, то орбиту спутника называют экваториальной. Орбиту называют полярной, если плоскость орбиты спутника проходит через полюса Земли. Орбиту называют наклонной при других взаимных расположениях плоскости орбиты спутника и плоскости земного экватора.

Орбиты могут быть круговыми с центром окружности, расположенным в центре Земли, или эллиптическими, при этом центр Земли находится в одном из фокусов эллипса. Кроме того, орбиты различаются также по высоте над поверхностью Земли.

Уникальные свойства имеет спутник, расположенный на экваториальной орбите, на высоте около 36 тысяч километров от поверхности Земли. Период обращения спутника на такой высоте совпадает с периодом вращения Земли вокруг своей оси. Если на такую орбиту запустить спутник в направлении, совпадающем с направлением вращения Земли, то такой спутник будет казаться неподвижным относительно поверхности Земли. Спутник на такой орбите называют геостационарным.

Для построения спутниковых систем связи используют, в основном, три разновидности орбит: геостационарную орбиту, высокую эллиптическую орбиту и низко-высотную орбиту.

Участок земной поверхности, на котором могут быть расположены наземные станции спутниковой связи, называется зоной обслуживания. Характеристики системы связи определяются положением спутника на орбите. Одним из важных параметров спутниковой связи является угол возвышения спутника для земного наблюдателя - это угол между направлением на спутник и касательной к окружности в точке расположения земной станции.

### 3. Волоконно-оптические системы связи.

Волоконно-оптическая связь — способ передачи информации, использующий в качестве носителя информационного сигнала электромагнитное излучение оптического (ближнего инфракрасного) диапазона, а в качестве направляющих систем — волоконно-оптические кабели. Благодаря высокой несущей частоте и широким возможностям мультиплексирования пропускная способность волоконно-оптических линий многократно превышает пропускную способность всех других систем связи и может измеряться терабитами в секунду. Малое затухание света в оптическом волокне позволяет применять волоконно-оптическую связь на значительных расстояниях без использования усилителей. Волоконно-оптическая связь свободна от электромагнитных помех и труднодоступна для несанкционированного использования: незаметно перехватить сигнал, передаваемый по оптическому кабелю, технически крайне сложно.

В основе волоконно-оптической связи лежит явление полного внутреннего отражения электромагнитных волн на границе раздела диэлектриков с разными показателями преломления. Оптическое волокно состоит из двух элементов — сердцевины, являющейся непосредственным световодом, и оболочки. Показатель преломления сердцевины несколько больше показателя преломления оболочки, благодаря чему луч света, испытывая многократные переотражения на границе сердцевина-оболочка, распространяется в сердцевине, не покидая её.

Волоконно-оптическая связь находит всё более широкое применение во всех областях — от компьютеров и бортовых космических, самолётных и корабельных систем, до систем передачи информации на большие расстояния, например, в настоящее время успешно используется волоконно-оптическая линия связи Западная Европа — Япония, большая часть которой проходит по территории России. Кроме того, увеличивается суммарная протяжённость подводных волоконно-оптических линий связи между континентами.

Волокно в каждый дом (англ. Fiber to the premises, FTTP или Fiber to the home, FTTH) — термин, используемый телекоммуникационными интернет-провайдерами, для обозначения широкополосных телекоммуникационных систем, базирующихся на проведении волоконного канала и его завершения на территории конечного пользователя путём установки терминального оптического оборудования для предоставления комплекса телекоммуникационных услуг, включающего:

- высокоскоростной доступ в Интернет;
- услуги телефонной связи;
- услуги телевизионного приёма.

Стоимость использования волоконно-оптической технологии уменьшается, что делает данную услугу конкурентоспособной по сравнению с традиционными услугами.

Волоконно-оптическая линия передачи — волоконно-оптическая система, состоящая из пассивных и активных элементов, предназначенная для передачи информации в оптическом (как правило — ближнем инфракрасном) диапазоне.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### 2.1 Лабораторная работа № 1-2 (4 часа).

**Тема:** «Различные виды электрических сигналов и их изображение»

**2.1.1 Цель работы:** Познакомится с различными видами электрических сигналов, их формой и применением в прикладных задачах.

#### 2.1.2 Задание для работы:

1. Форма сигнала
2. Характеристики сигнала

#### 2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Персональный компьютер с установленным специальным ПО.
2. Мультимедийное оборудование

#### 2.1.4 Описание (ход) работы:

Существует множество различных типов электрических сигналов, но в целом, все они могут быть разбиты на две основные группы.

- **Однополярные сигналы** - это электрические сигналы, которые всегда положительные или всегда отрицательные, не пересекающие горизонтальную ось. К однонаправленным сигналам относятся меандр, тактовые импульсы и запускающие импульсы.
- **Двухполярные сигналы** - эти электрические сигналы также называют чередующимися сигналами, так как они чередуют положительные значения с отрицательными, постоянно пересекая нулевое значение. Двухполярные сигналы имеют периодическое изменение знака своей амплитуды. Наиболее распространенным из двунаправленных сигналов, является синусоидальный.

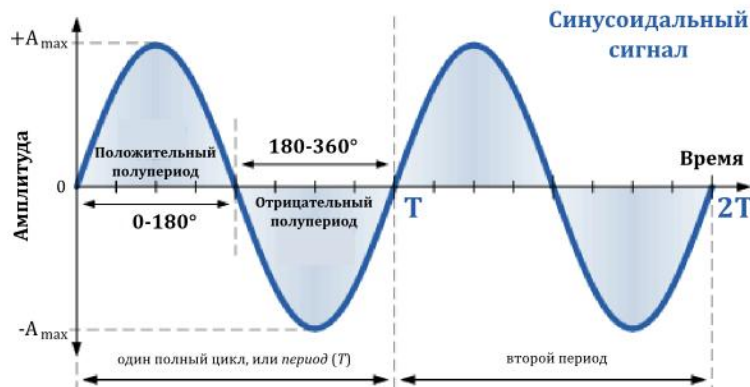
Будучи однонаправленными, двунаправленными, симметричными, несимметричными, простыми или сложными, все электрические сигналы имеют три общие характеристики:

- **Период** — это отрезок времени, через который сигнал начинает повторяться. Это временное значение также называют *временем периода* для синусоид или *шириной импульса* для меандров и обозначают буквой  $T$ .
- **Частота** - это число раз, которое сигнал повторяет сам себя за период времени равный 1 секунде. Частота является величиной, обратной периоду времени, ( $f = 1/T$ ). Единицей измерения частоты является Герц ( $Гц$ ). Частотой в  $1Гц$ , обладает сигнал, повторяющий 1 раз за 1 секунду.
- **Амплитуда** — это величина изменения сигнала. Измеряется в Вольтах ( $V$ ) или Амперах ( $A$ ), в зависимости от того, какую временную зависимость (напряжения или тока) мы используем.



## Периодические сигналы

Периодические сигналы являются самыми распространенными, поскольку включают в себя синусоиды. Переменный ток в розетке дома представляет из себя синусоиду, плавно изменяющуюся с течением времени с частотой  $50\text{Гц}$ .



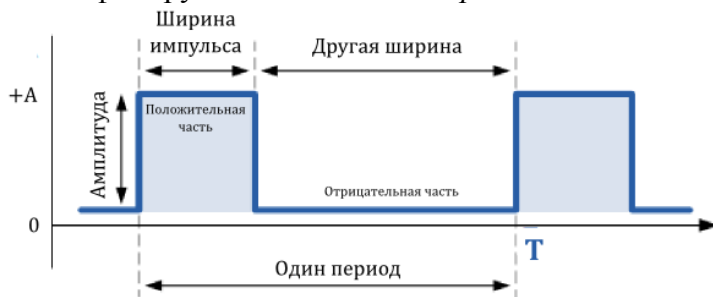
Период и частота математически являются обратными друг другу величинами. С уменьшением времени периода сигнала, его частота увеличивается и наоборот.

Соотношения между периодом сигнала и его частотой:

$$f = \frac{1}{T} \text{ Гц}$$
$$T = \frac{1}{f} \text{ с}$$

## Прямоугольный сигнал

Прямоугольные сигналы отличаются от меандров тем, что длительности положительной и отрицательной частей периода не равны между собой. Прямоугольные сигналы поэтому классифицируются как *несимметричные* сигналы.



В данном случае я изобразил сигнал, принимающий только положительные значения, хотя, в общем случае, отрицательные значения сигнала могут быть значительно ниже нулевой отметки.

На изображенном примере, длительность положительного импульса больше, чем длительность отрицательного, хотя, это и не обязательно. Главное, чтобы форма сигнала была прямоугольной.

Отношение периода повторения сигнала  $T$ , к длительности положительного импульса  $\tau$ , называют *скважностью*:

$$S = \frac{T}{\tau}$$

Величину обратную скважности называют коэффициентом заполнения (*duty cycle*):

$$D = \frac{1}{S} = \frac{\tau}{T}$$

### Пример расчета

Пусть имеется прямоугольный сигнал с импульсом длительностью 10мс и коэффициентом заполнения 25%. Необходимо найти частоту этого сигнала.

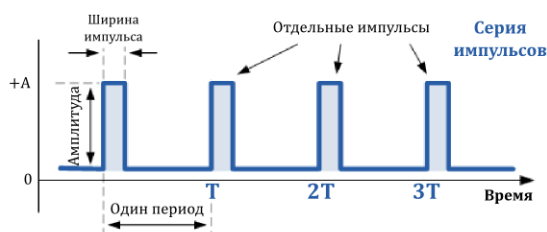
Коэффициент заполнения равен 25% или  $\frac{1}{4}$ , и совпадает с шириной импульса, которая составляет 10мс. Таким образом, период сигнала должен быть равен: 10мс (25%) + 30мс (75%) = 40мс (100%).

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{(10+30) \cdot 10^{-3} \text{с}} = 25 \text{ Гц}$$

Импульсы и запускающие сигналы (триггеры)

Хотя, технически, запускающие сигналы и импульсы два отдельных типа сигналов, но отличия между ними незначительны. Запускающий сигнал — это всего лишь очень узкий импульс. Разница в том, что триггер может быть как положительной, так и отрицательной полярности, тогда как импульс только положительным.

Форма импульса, или серии импульсов, как их чаще называют, является одним из видов несинусоидальной формы сигналов, похожей на прямоугольный сигнал. Разница в том, что импульсный сигнал определяется часто только коэффициентом заполнения. Для запускающего сигнала положительная часть сигнала очень короткая с резкими ростом и спадом и ее длительностью, по сравнению с периодом, можно пренебречь.



Очень короткие импульсы и запускающие сигналы предназначены для управления моментами времени, в которые происходят, например, запуск таймера, счетчика, переключение логических триггеров а также для управления тиристорами, симисторами и другими силовыми полупроводниковыми приборами.

Я рассмотрел здесь только основные виды электрических сигналов. Остальные типы сигналов, обычно, получают их комбинацией или модуляцией (изменением параметров, используя другой сигнал), например:

- Амплитудно-модулированный сигнал
- Частотно-модулированный сигнал
- Фазо-модулированный сигнал
- Фазо-частотно-модулированный сигнал
- Фазо-кодо-манипулированный сигнал

## 2.2 Лабораторная работа №3-4 (4 часа).

Тема: «Характеристики каналов ТЧ»

**2.2.1 Цель работы:** Познакомится с понятием тонального канала, изучить его свойства, особенности. Также изучить процесс передачи данных по каналам тональной частоты.

**2.2.2 Задание для работы:**

1. Характеристики канала ТЧ
2. Передача данных по каналу ТЧ

**2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер с установленным специальным ПО.
2. Мультимедийное оборудование

**2.2.4 Краткое описание проводимого занятия:**

Международный телекоммуникационный союз (International Telecommunication Unit – ITU) нормирует характеристики каналов, причем требования к качеству каналов постоянно растут. Каналы ОАО «РЖД» должны соответствовать нормам ITU. Нормы задаются на условный (гипотетический) канал длиной 2500 км.

Электрические характеристики нормируются:

- а) для канала ТЧ (0,3-3,4 кГц);
- б) для групповых каналов.

Нормированные электрические характеристики можно разделить на две группы:

- основные, которые определяют качество передачи телефонных, телеграфных, фототелеграфных сигналов;
- дополнительные, которые определяют качество каналов передачи дискретных сигналов ПДИ и контролируют качество дискретных каналов.

К основным электрическим характеристикам относятся:

- 1) уровни передачи и динамический диапазон;
- 2) остаточное затухание и его среднеквадратическое отклонение от среднего значения на частоте 800 Гц;
- 3) амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);
- 4) фазо-частотная характеристика (ФЧХ);
- 5) амплитудная характеристика (АХ);
- 6) нелинейные искажения в канале связи;

- 7) устойчивость канала;
- 8) помехи в канале связи (КС) и уровни помех;
- 9) переходные влияния между каналами;
- 10) допустимые изменения частоты сигнала в КС.

Практическое значение имеет **рабочее затухание** канала, группового тракта или какого-либо элемента аппаратуры

$$a = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}},$$

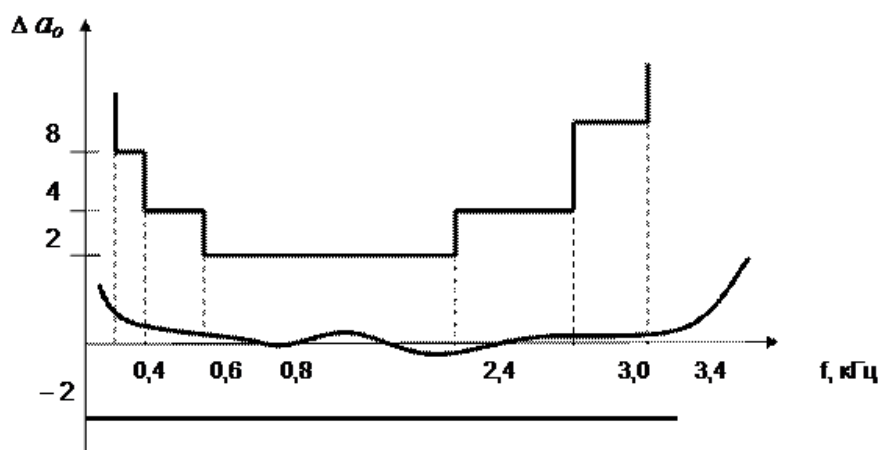
где  $P_{\text{вх}}$  – уровень сигнала на входе;  $P_{\text{вых}}$  – уровень сигнала на выходе.

Разница между суммой усиления и суммой затуханий канала называется **остаточным затуханием канала**

$$a_0 = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{i=1}^m S_i.$$

**Амплитудно-частотной характеристикой** канала или тракта называют зависимость остаточного затухания (усиления) от частоты синусоидального сигнала (рис. 8). В связи с этим устанавливается полоса эффективно передаваемых частот (для канала ТЧ 0,3-3,4 кГц). Если в полосе эффективно передаваемых частот остаточное затухание значительно зависит от частоты, то будут наблюдаться амплитудно-частотные искажения передаваемых речевых сигналов. АЧХ нормируют, используя ступенчатые кривые - шаблоны, ограничивающие допустимые изменения ее в сторону увеличения затухания. Уменьшение затухания ограничивается соответствующей прямой линией, так как оно одинаково опасно на любой частоте из-за возможности возникновения генерации канала (рис. 9).

АЧХ позволяет оценить линейные амплитудно-частотные искажения, влияющие на разборчивость речи в телефонной передаче.



У различных организаций, удаленных друг от друга на значительном расстоянии (например, разные города), которым необходимо обмениваться цифровой информацией (медицина, банки, научные учреждения и многие другие), может возникнуть проблема выбора среды для передачи необходимой им информации. На сегодняшний день наиболее распространенными являются аналоговые линии, что сказывается на постоянном совершенствовании модемов, предназначенных для передачи данных именно по ним. Наша страна также не является исключением в этом вопросе. Кроме того, цифровые линии существенно дороже аналоговых. Можно, конечно, использовать коммутируемую сеть общего пользования (но нет гарантии, что будет удовлетворяющее вас качество), либо "Искру", но при большом объеме передаваемой информации это неэффективно. Таким образом, наиболее удобной является аренда каналов тональной частоты (ТЧ). Но при этом возникают свои проблемы.

Арендованные или выделенные каналы - это такие каналы, которые жестко закреплены за конкретными пользователями, и это соединение не меняется во времени. Эти каналы арендуются у предприятий связи различными организациями для удобства обмена

информацией. Путь прохождения этих каналов может быть различным. Он может проходить транзитом через телефонные станции, междугородные телефонные станции, спутники, через различные системы передачи, также идти по отдельно лежащим кабелям.

Импульсная помеха представляет собой сравнительно короткий и мощный всплеск мешающего напряжения, который может вызвать нарушение передачи информации или ошибки. Амплитуда такой помехи соизмерима с амплитудой полезного сигнала, а время действия соизмеримо с длительностью единичного элемента сигнала дискретной информации.

Источниками помех могут быть:

- линейные усилители систем передачи в режиме перегрузки;
- плохие контакты электрических цепей;
- переключение аппаратуры и другие работы проводимые персоналом линейных и стационарных сооружений связи;
- влияние грозových разрядов, линий электропередачи, радиостанций и прочее.

Междугородные каналы являются 4-проводными, а если используются 2-проводные модемы, то необходимо использование дифсистем, которые вводят такое мешающее воздействие, как эхо, из-за своей неидеальности либо плохой настройки. Особенно это воздействие сказывается на больших расстояниях. Многократно усиленное дальнейшее эхо становится соизмеримым с полезным сигналом и влияет на качество передачи данных. Лучший выход из этого положения - это применение 4-проводных модемов.

Использование протоколов коррекции ошибок практически сводило на нет их появление.

Были подмечены следующие закономерности:

1. Зависимость между скоростью соединения и вероятностью появления ошибок такова, что обычно на скоростях до 9600 бит/с ошибок практически не было, вероятность появления ошибки составляла  $10^{-5}$  -  $10^{-6}$ .
2. Ошибки имеют тенденцию к группированию, и поэтому при уменьшении длины пакета данных вероятность появления ошибки уменьшалась примерно на 20 - 50 % в зависимости от того, насколько уменьшался пакет. В то же время значительное уменьшение пакета сказывалось на производительности, и дальнейшее его уменьшение нецелесообразно.
3. Обычно модемы имеют уровень на передачу от -9 до -12 дБ, регулировка возможна не всегда. При работе с такими уровнями аналоговая каналообразующая аппаратура начинает реагировать следующим образом: если уровень выше -13 дБ, то происходит обрезание передающего сигнала до этого предела. Если уровень на передачу находится в пределах от 0 дБ до -22 дБ, то редко возможна скорость выше 9600 бит/с из-за того, что каналообразующая аппаратура начинает возбуждаться и также не дает возможности работы с высокими скоростями. Оптимальным является уровень от -25 до -28 дБ, в этом случае возможна работа на скоростях до 31200 бит/с включительно. Таким образом, чем ниже уровень на передачу у модема, тем выше скорость соединения.
4. Ошибки редко возникают на каналах связи из-за перерывов. Обычно они связаны с такими параметрами, как сигнал/шум, дрожание фазы, искажение частоты, завышенный уровень на передачу, нелинейные искажения.

## 2.3 Лабораторная работа №5-8 (8 часов).

**Тема:** «Различные виды модуляции и их графическое представление»

**2.3.1 Цель работы:** Познакомиться с понятием модуляции, ее видами и свойствами. Также во время работы производится решение прикладных задач.

### 2.3.2 Задание для работы:

1. Общие понятия о модуляции.
2. Различные виды модуляций.
3. Решение прикладных задач модуляции

### 2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Персональный компьютер с установленным специальным ПО.
2. Мультимедийное оборудование

### 2.3.4 Краткое описание проводимого занятия:

**1.1 Модуляция** — это процесс преобразования одного или нескольких информационных параметров несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями информационного сигнала.

В результате модуляции сигналы переносятся в область более высоких частот.

Использование модуляции позволяет:

- согласовать параметры сигнала с параметрами линии;
- повысить помехоустойчивость сигналов;
- увеличить дальность передачи сигналов;
- организовать многоканальные системы передачи (МСП с ЧРК).

В качестве несущего сигнала может использоваться:

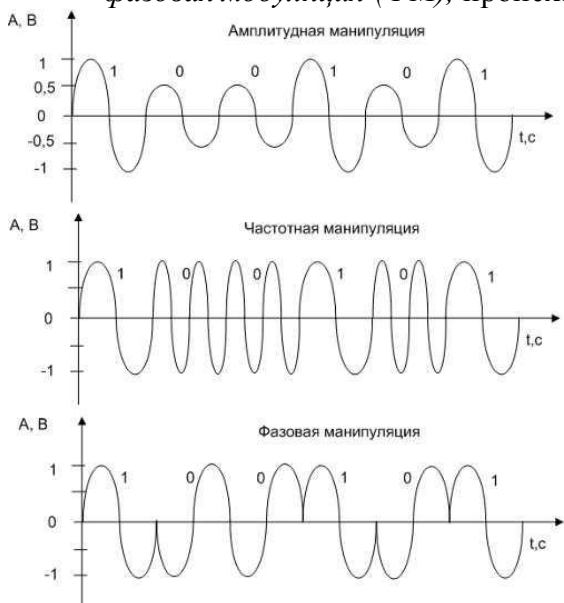
- гармоническое колебание, при этом модуляция называется *аналоговой* или *непрерывной*;
- периодическая последовательность импульсов, при этом модуляция называется *импульсной*;
- постоянный ток, при этом модуляция называется *шумоподобной*.

**Амплитудная модуляция** — процесс изменения амплитуды несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями модулирующего сигнала.

#### 1. Виды аналоговой модуляции:

- *амплитудная модуляция (АМ)*, происходит изменение амплитуды несущего колебания;

- *частотная модуляция (ЧМ)*, происходит изменение частоты несущего колебания;
- *фазовая модуляция (ФМ)*, происходит изменение фазы несущего колебания.

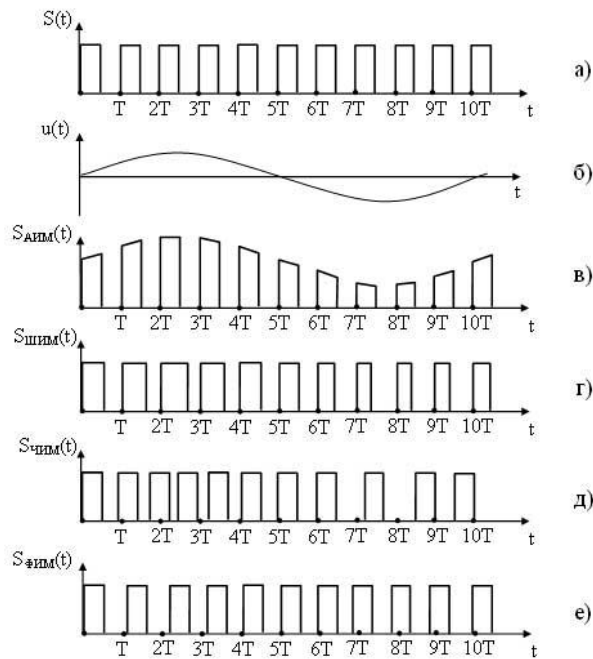


*Импульсная модуляция* — это модуляция, при которой в качестве несущего сигнала используется периодическая последовательность импульсов, а в качестве модулирующего может использоваться аналоговый или дискретный сигнал.

## 2. Виды импульсной модуляции:

- *амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)*, происходит изменение амплитуды импульсов несущего сигнала;
- *частотно-импульсная модуляция (ЧИМ)*, происходит изменение частоты следования импульсов несущего сигнала;
- *Фазо-импульсная модуляция (ФИМ)*, происходит изменение фазы импульсов несущего сигнала;
- *Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)*, происходит изменение длительности импульсов несущего сигнала.





## 2.1 Основные формулы

Носитель, модулированный по амплитуде гармоническим сообщением

$$U_{AM}(t) = U_{\omega_1} \cos \omega_1 t + \frac{m_{AM}}{2} U_{\omega_1} \cos(\omega_1 + \Omega)t + \frac{m_{AM}}{2} U_{\omega_1} \cos(\omega_1 - \Omega)t. \quad (2.1)$$

Однополосно–модулированный по амплитуде (ОАМ) сигнал соответствует одной из боковых полос АМ сигнала

$$U(t) = \frac{U_{\omega_1} m_{AM}}{\omega} \cos(\omega_1 + \Omega)t \text{ или } U(t) = \frac{U_{\omega_1} m_{AM}}{\omega} \cos(\omega_1 - \Omega)t. \quad (2.2)$$

Частотно–модулированный сигнал

$$U_{ЧМ}(t) = U_{\omega_1} \cos(\omega_1 t + m_{ЧМ} \sin \Omega t), \quad (2.3)$$

где  $m_{ЧМ} = \omega_d / \Omega$  – индекс частотной модуляции.

Фазо–модулированный сигнал

$$U_{ФМ}(t) = U_{\omega_1} \cos(\omega_1 t + m_{ФМ} \cos \Omega t), \quad (2.4)$$

где  $m_{ФМ} = K_{ФМ} U_{\Omega}$  – индекс фазовой модуляции.

Выражения для спектра сигнала с угловой модуляцией

$$U(t) = U_{\omega_1} (J_0(m) \cos \omega_1 t - J_1(m) \cos(\omega_1 - \Omega)t + J_1(m) \cos(\omega_1 + \Omega)t + J_2(m) \cos(\omega_1 \pm 2\Omega)t - J_3(m) \cos(\omega_1 + 3\Omega)t + J_3(m) \cos(\omega_1 - 3\Omega)t + \dots). \quad (2.5)$$

## 2.2 Задачи и упражнения

**2.2.1** Нарисовать спектр сигнала  $U(t) = 10(1 + 0,3 \cos 10^4 t + 0,5 \cos 5 \cdot 10^4 t) \times \cos 10^8 t$ . Определить ширину спектра АМ сигнала. Определить минимальную, максимальную и среднюю мощность сигнала.

Ответ:  $\Delta\omega = 10^5$  рад/с;  $P_1 = 160$  Вт;  $P_2 = 2$  Вт;  $\bar{P} = 58,5$  Вт.

**2.2.2** Несущие колебания  $10 \cos 2\pi 10^4 t$  модулируются по амплитуде сигналами  $2 \cos 2000\pi t$ ,  $3 \cos 3000\pi t$ ,  $5 \cos 8000\pi t$ . Рассчитать и построить спектр АМ сигнала. Определить ширину спектра, минимальную, максимальную и среднюю мощности АМ сигнала.

Ответ:  $\Delta F = 8$  кГц;  $P_1 = 200$  Вт;  $P_1 = 0$ ;  $\bar{P} = 75$  Вт.

**2.2.3** Построить спектр модулированного по амплитуде сигнала с частотой несущих колебаний 20 кГц при передаче телефонного разговора с полосой частот 0,3... 3 кГц. Определить ширину спектра сигнала.

Ответ: 6 кГц.

**2.2.4** Спектральная диаграмма напряжения приведена на рисунке 2.1. Определить парциальные коэффициенты модуляции, найти аналитическое выражение данного колебания.

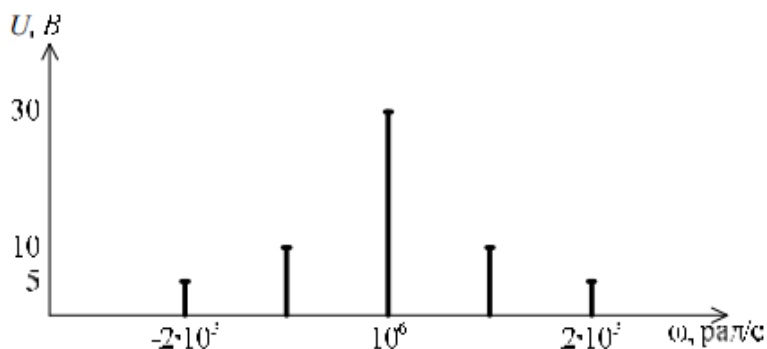


Рисунок 2.1 – Спектральная диаграмма

Ответ:  $U(t) = 30 \left( 1 + \frac{2}{3} \cos 10^3 t + \frac{1}{3} \cos 2 \cdot 10^3 t \right) \cos 10^6 t$ .

**2.2.5** Модулирующий сигнал  $\cos 2\pi 10^3 t$  модулирует несущие колебания  $\cos 2\pi 10^6 t$ . Установить связь между параметрами модулирующего и однополосного сигналов. Изобразить временные диаграммы ОМ сигнала.

Ответ:  $U(t) = 0,5$  В;  $\omega(t) = 2\pi 10^3(10^3 + 1)$  рад/с.

## 2.4 Лабораторная работа №9-12 (8 часов).

Тема: «Спектры цифровых последовательностей»

**2.4.1 Цель работы:** Познакомиться с понятием цифрового сигнала (последовательности), с явлением автокорреляции, а также с практическим применением данных явлений.

**2.4.2 Задание для работы:**

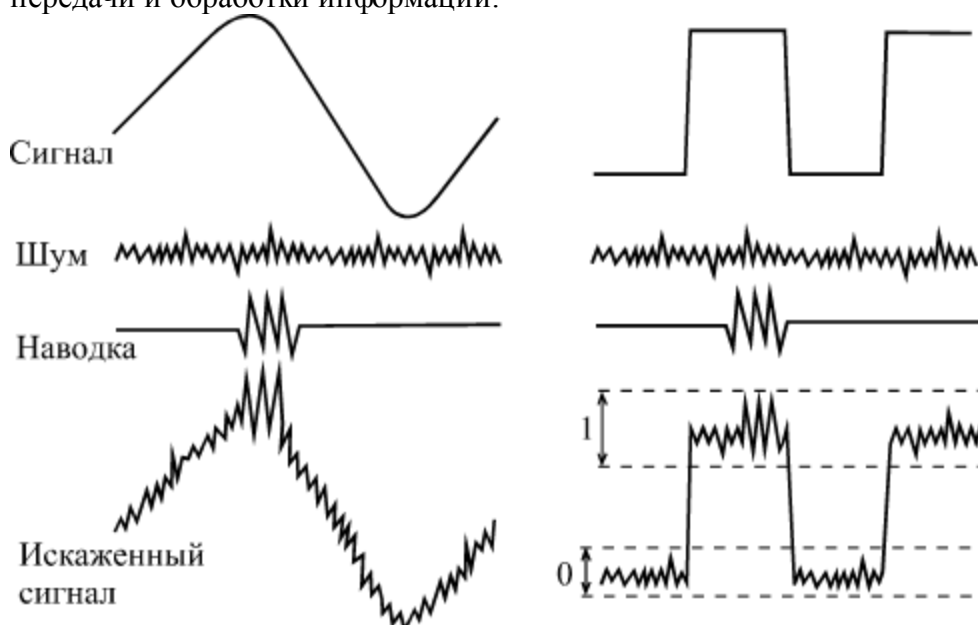
1. Понятие цифрового сигнала
2. Автокорреляция.

**2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер с установленным специальным ПО.
2. Мультимедийное оборудование

**2.4.4 Краткое описание проводимого занятия:**

Цифровые сигналы — то есть сигналы, имеющие дискретное множество значений — по этому параметру значительно лучше аналоговых, так как нас интересует не непосредственно значение сигнала, а диапазон в котором находится это значение и помеха нам не страшна (например в диапазоне напряжений 0В — 1.6В мы считаем, что это лог 0, а в диапазоне 3.3В — 5В лог 1). Расплата за это — увеличение требуемой скорости передачи и обработки информации.



Первое, что люди научились делать — естественно передавать такие сигналы по проводам, просто переключая состояние линии данных и синхронизации из единиц в ноль.

Спектр единичного импульса

В радиосвязи нас часто интересует спектр сигнала — цифровой сигнал — последовательность прямоугольных импульсов — для начала рассмотрим спектр одного прямоугольного импульса.

Вспомним — что такое спектр (коэффициент перед интегралом опущен):

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot e^{-i\omega t} dt$$

Также видим, что спектр одиночного импульса представляет собой sinc функцию, довольно часто встречающуюся в цифровой обработке сигналов и радиотехнике.

Почти вся энергия импульса содержится в центральном пике спектра — его ширина обратно пропорциональна длительности импульса. А высота — прямо пропорциональна — то есть — чем длиннее импульс — тем уже и выше его спектр, а чем короче — тем ниже и шире.

Спектр последовательности импульсов с хорошей степенью точности можно считать совокупностью гармоник в спектральной полосе, ширина которой обратно пропорциональна длительности импульса  $T$ .

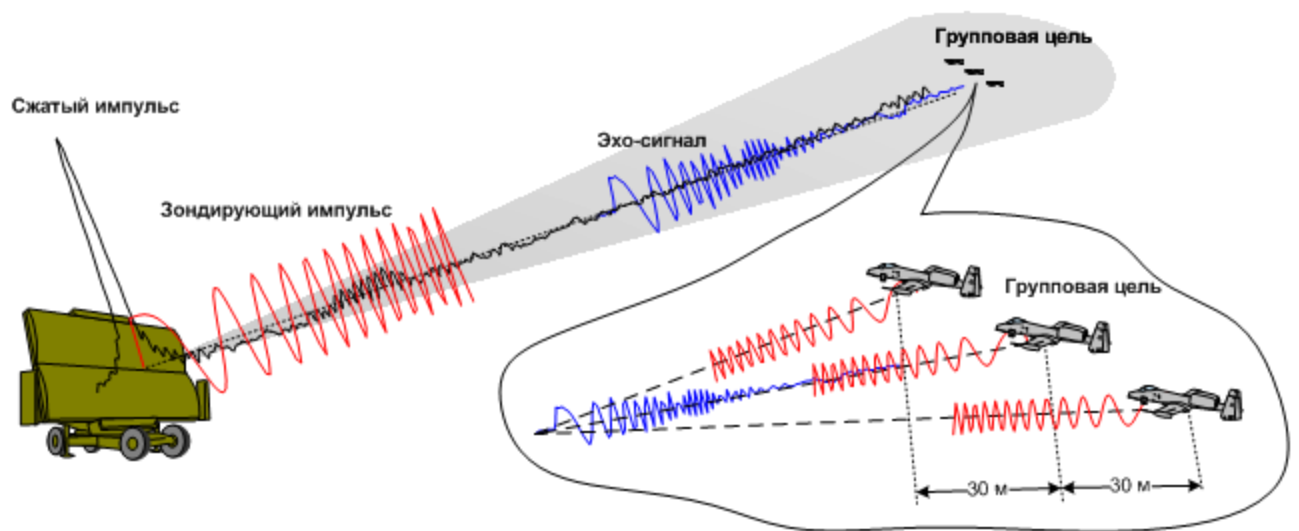
Итак — вывод — уменьшая длину импульсов нашего цифрового сигнала мы можем размывать сигнал по широкой полосе спектра — при этом пропорционально уменьшается его высота — при увеличении полосы в  $N$  раз — во столько же уменьшится высота спектра вплоть до уровня шумов. Широкополосная передача имеет довольно много плюсов — один из них — устойчивость к узкополосным помехам — так как информация размазана по спектру — узкополосная помеха портит только малую часть этой информации.

Если уменьшить длину импульсов нашего информационного сигнала — спектр, конечно, уширится, но ведь приемник не знает какую информацию мы ему передаем и не сможет выделить её из шумов. Поэтому необходим способ — преобразовать узкополосный сигнал в широкополосный шумоподобный — для передачи по радиоканалу, а после приема преобразовать обратно в узкополосный — нужно добавлять в сигнал избыточную информацию, то есть информацию, известную и приемнику и передатчику, при помощи которой приемник может отличить сигнал от шумов. Закодируем каждый бит информации известной и приемнику и передатчику последовательностью.

Наша задача — найти в длинной последовательности входных данных заранее известную короткую последовательность.

Автокорреляция — статистическая взаимосвязь между случайными величинами из одного ряда, но взятых со сдвигом.

Особое значение данный параметр имеет в локации — вот сгенерировали мы какой то сигнал и засекали время — скорость распространения сигнала нам известна, значит зная время, которое потребовалось сигналу, чтобы сбежать до препятствия и обратно — мы можем вычислить расстояние для препятствия. Но вот незадача — идеальных условий в жизни не бывает — как правило вокруг очень много шумов и вместе с отраженным сигналом на вход приемника поступает всякий мусор. А мы во-первых не должны спутать наш сигнал ни с чем другим, во вторых — достаточно точно определить момент времени, когда он вернулся назад.



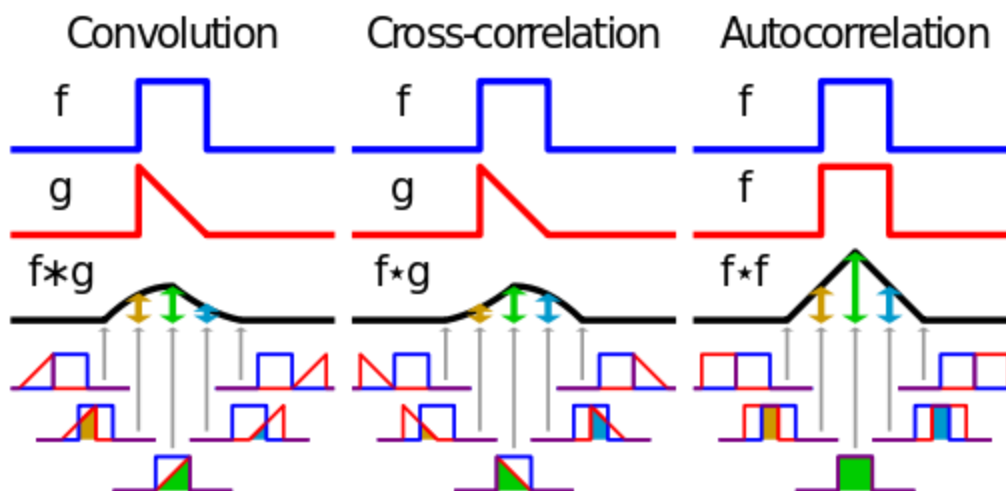
Математически — автокорреляция определяется так:

$$\Psi(\tau) = \int f(t)f(t - \tau)dt$$

То есть мы накладываем функцию на саму себя, но со сдвигом — перемножаем и вычисляем интеграл, отмечаем точку, затем опять сдвигаем, опять вычисляем интеграл и так для всех возможных сдвигов. Если мы прикладываем функцию не к самой себе, а к какой то другой, то это называется просто корреляция.

На приведенной ниже картинке демонстрируются операции свертки, корреляции и автокорреляции.

Отличие свертки и корреляции — в направлении — свертка функций  $f(x)$  и  $g(x)$  — это та же корреляция, только функций  $f(x)$  и  $g(-x)$ , автокорреляция — корреляция функции с самой собой



То есть в момент времени, когда входной сигнал наиболее похож на нужную нам функцию — корреляционная функция будет иметь пик. Ширина этого пика, если не брать во внимание шум — будет равна удвоенной длине зондирующего импульса и будет симметричной относительно центрального пика — даже если исследуемый сигнал не является симметричным. К слову — пиков может быть несколько — центральный пик и так называемые боковые лепестки — зависит от функции. Корреляционный метод является самым оптимальным методом определения сигнала известной формы на фоне белого шума — другими словами метод имеет наилучшее отношение сигнал/шум. Зондирующий импульс должен удовлетворять следующим требованиям — иметь как можно более узкий центральный пик и при этом иметь минимальный уровень боковых лепестков, то есть функция похожа сама на себя только в очень коротком интервале

времени — чуть сдвинуть и она становится совершенно непохожа. В локации этим требованиям удовлетворяет ЛЧМ сигнал.

## **2.5 Лабораторная работа №13-16 (8 часов).**

**Тема:** «ОЦК, его параметры и метод формирования»

**2.5.1 Цель работы:** Познакомиться с понятием основного цифрового канала, его различными характеристиками, а также с современными методами формирования.

### **2.5.2 Задание для работы:**

1. ОЦК
2. Параметры ОЦК
3. Метод формирования ОЦК

### **2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер с установленным специальным ПО.
2. Мультимедийное оборудование

### **2.5.4 Краткое описание проводимого занятия:**

*Основной цифровой канал телефонной сети* — 64000 бит/с. Образуется из следующих соображений. Диапазон частот, в который помещается голос человека, составляет 300—3400 Гц. Для дискретизации по теореме Котельникова необходимо удвоить частоту 3400 Гц, получаем 6800 Гц. Из-за неидеальности фильтров, имеющих полосу расфильтровки, отличную от нуля, частоту дискретизации увеличили до 8000 Гц. Сейчас диапазон частот 3400 — 4000 Гц может быть использован для передачи сигнализации (к примеру, одночастотная сигнализация на частоте 3825 Гц). В канал передаётся не сам отсчёт (величина напряжения), а двоичная кодовая комбинация, обозначающая его номер. Способ получил название ИКМ. При линейном квантовании выбирается 2048 разрешённых значений сигнала (без учёта знака). С учётом знака имеем 4096 разрешённых значений, при этом кодовая комбинация состоит из 12 разрядов. Это число можно сократить, проведя операцию компандирования сигнала. После неё у сигнала остаётся 128 разрешённых значений (без учёта знака), а с учётом знака — 256. Тогда кодовая комбинация будет состоять из 8 разрядов, и заметного снижения качества речи не произойдёт в силу особенностей человеческого слуха. В итоге получается  $8000 \times 8 = 64000$  бит/с. Канал используется как основной в плезиохронной цифровой иерархии

Зависимость параметра ошибки BER от отношения сигнал/шум можно выделить как основную характеристику цифровой системы, поскольку она влияет на стабильность связи.

Параметр ошибки оценивается как функция отношения сигнал/шум. А вот уже на уровень шума по отношению к полезному сигналу влияют разные параметры, большинство из которых имеет аналоговый характер. Первое, что напрашивается из вышеописанного, это необходимость измерения уровня затухания сигнала. Уровень сигнала определяют измерителями уровня. Поскольку уровень сигнала нужно измерять на разных частотах, то нужен еще и измеритель с перестраиваемой частотой. Как правило, эти два вида измерений совмещены в одном приборе. Другими словами, для оценки качества цифровых каналов требуется измерение АЧХ аналоговых каналов. В последнее время распространенными средствами анализа АЧХ, предлагаемыми на рынке измерительного оборудования, являются анализаторы спектра

Важным параметром тракта является неравномерность фазово-частотной характеристики. Она влияет на уровень искажений при передаче широкополосных радиочастотных сигналов (сети сотовой связи GSM). Эта неравномерность определяется групповым временем прохождения (ГВП) или еще называют групповым временем задержки (ГВЗ). Для определения ГВП для проводных и беспроводных каналов можно использовать, например, все те же приборы с анализатором спектра в составе, например HP 11758V от Hewlett-Packard. Еще один параметр важный для цифровых сетей и систем передачи данных – это дрожание фазы сигнала (фазовый джиттер). Джиттером или фазовым дрожанием называется явление фазовой модуляции принимаемого сигнала. Быстрые колебания частоты  $>10$  Гц называют, собственно, джиттером, а медленные  $<10$  Гц – вандером (дрейфом фазы).

На параметры передачи данных по радиоканалам существенное влияние оказывают задержки и канальные ошибки. Задержки зависят от длины линии связи между приемником и передатчиком, количества и качества ретрансляторов. Причины канальных ошибок более разнообразны. На качество связи в радиоканалах сильное влияние оказывает затухание сигнала. Затухание приводит к уменьшению отношения сигнал/шум, и как следствие, к увеличению параметра ошибки. Оно связано с факторами распространения сигнала по радиочастотному тракту (несогласованность сопротивления элементов тракта, атмосферные и природные причины, препятствия на пути сигнала), а также с многолучевым прохождением сигнала. При многолучевом прохождении сигнала возникает межсимвольная интерференция, когда последовательные биты информации накладываются друг на друга, что может приводить к замираниям сигнала, если разные лучи приходят к приемнику в противофазе

Мультиплексоры цифровых сигналов объединяют ряд цифровых каналов в большие блоки, образуя иерархию ЦСП, то есть совокупность цифровых систем передачи, позволяющую объединять или разделять цифровые потоки с стандартизованными скоростями и пропускными способностями в рамках единой цифровой сети.

Большая часть ЦСП базируется на формировании основного цифрового канала (ОЦК) со скоростью передачи 64 кбит/с.

В соответствии с европейским стандартом формирования иерархии ЦСП, 30 ОЦК объединяются, образуя цифровой поток со скоростью передачи 2048 кбит/с, получивший название первичного цифрового потока, который обозначается, как E1 или 2М. 4 потока 2 Мбит/с мультиплексируются, образуя на следующем уровне иерархии вторичный цифровой поток E2 или 8М со скоростью передачи 8448 кбит/с. Далее этот процесс повторяется дважды, причём формируются цифровые потоки 34368 кбит/с (E3 или 34М) и 139264 кбит/с (E4 или 140М).

Совокупность ЦСП, работающих с указанными выше величинами пропускных способностей и скоростей передачи групповых сигналов, получила название плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ или PDH). Характерной особенностью указанного метода цифрового группобразования является некрatность скоростей передачи на различных ступенях иерархии, обусловленная тем, что за исключением формирования сигнала Е1 на остальных ступенях иерархии мультиплексируются сигналы различных источников (систем передачи или цифровых электронных АТС), скорости передачи и, соответственно тактовые частоты которых различаются в пределах нормированных величин разбросов номиналов частот их генераторного оборудования. Отклонение скорости передачи от нормированной величины 2048 кбит/с может достигать величины, превышающей  $+50 \times 10^{-6}$ , что составит примерно +100 бит/с. Поэтому для того, чтобы избежать проскальзываний, которые могут привести к потерям передаваемой информации, в указанных системах передачи используется метод уравнивания скоростей или стаффинга. При стаффинге в составе группового сигнала передаётся ряд дополнительных битов, предназначенных для уравнивания скоростей. Кроме того, в групповые сигналы высших ступеней иерархии вводятся каналы постанционной служебной связи и дистанционного контроля аппаратуры. В настоящее время при сохранении основных положений рекомендации МСЭ-T G.702, регламентирующих формирование плезиохронной цифровой иерархии, групповые сигналы высших ступеней могут формироваться, минуя промежуточные этапы формирования. Так, например, цифровой поток 34 Мбит/с может прямо формироваться из 16 цифровых потоков 2 Мбит/с.

Современные универсальные узлы доступа магистральных сетей формируются на базе стыков 2 Мбит/с. Например, для ЦСИО (ISDN), стык S (PRA) 2 Мбит/с является связующим звеном между магистральной сетью и цифровой УАТС или локальной сетью. Он же связывает пользователей GSM в мобильных цифровых сетях. Стык Е1 является самым массовым стыком компонентных сигналов синхронной цифровой иерархии, более подробно об этой иерархии рассказывается в разделе 7 данной книги. С помощью стыка Е1 организуется связь между сетями конкурирующих операторов, поэтому в случае возникновения конфликтов при поиске неисправностей в сетях необходимо обеспечить оперативное измерение основных параметров передачи указанного стыка

## **2.6 Лабораторная работа №17-20 (8 часов).**

**Тема:** «Типы различных кабелей используемых в системах связи»

**2.6.1 Цель работы:** Познакомиться с различными типами кабелей, используемых в сетях, с некоторыми их общими понятиями, а также основными аспектами их применения и преимуществ.

### **2.6.2 Задание для работы:**

1. Общие понятия.
2. Виды кабелей

### **2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**



1. Персональный компьютер с установленным специальным ПО.
2. Мультимедийное оборудование

#### 2.6.4 Краткое описание проводимого занятия:

Кабели применяются для передачи электрической энергии (силовые кабели), для проводной связи и сигнализации (кабели связи), для передачи энергии и сигналов на радиочастотах (радиочастотные кабели) и в оптическом диапазоне (оптические кабели). Стандарт ISO 11801 2002 детально описывает классификацию кабелей. Зачастую «кабель» применяется как синоним слову «провод».

Проводники в кабелях изготавливаются из следующих материалов:

- для передачи электрической энергии и сигналов: алюминий, медь, серебро, золото, сплавов различных металлов;
- для передачи оптических сигналов: стекло, пластмассы.

Оболочка кабеля может состоять из одного и более герметизирующих и армирующих слоёв, в качестве этих слоёв могут применяться различные материалы: ткань, пластмассы, металл, резина и проч.

Кабель состоит из проводников, слоев экрана и изоляции. Также в состав кабеля входят разъемы для подключения его к сетевому оборудованию. Для удобства быстрого переподключения кабелей и сетевого оборудования используются разные электромеханические устройства, называемые кроссовыми коробками или шкафами. В компьютерных сетях применяются кабели, которые удовлетворяют определенным стандартам. Это позволяет строить сеть из кабелей и соединительных устройств разных производителей, а не мучиться подбором всех компонентов одного производителя. Современные стандарты определяют характеристику не отдельно кабеля, а полного набора составляющих, которые нужны для создания кабельного элемента (например, соединительного шнура от рабочей станции до розетки, самой розетки, основного кабеля, жесткого кроссового соединения и шнура до сетевого концентратора).

Характеристики кабелей.

**Затухание** (Attenuation). Затухание измеряется в децибелах на метр для определенной частоты или диапазона частот сигнала.

- **Перекрестные наводки на ближнем конце** (Near End Cross Talk NEXT). Измеряется в децибелах на метр для определенной частоты сигнала.

- **Импеданс** (волновое сопротивление). Это полное (реактивное и активное) сопротивление в электрической цепи. Импеданс измеряется в омах. Это относительно постоянная величина для кабельных систем. Для коаксиального кабеля, используемого в стандарте Ethernet, импеданс должен составлять 50 Ом. Для неэкранированной витой пары наиболее часто используемое значение импеданса 100 и 120 Ом.

- **Активное сопротивление**. Это сопротивление постоянному току в электрической цепи. Оно не зависит от частоты, в отличие от импеданса, а увеличивается с увеличением длины кабеля.

- **Емкость** - свойство металлических проводников накапливать энергию. Два металлических проводника в кабеле, разведенные диэлектриком, представляют из себя конденсатор, который способен накапливать заряд. Эта паразитная ёмкость - величина нежелательная, и поэтому стараются, чтобы она была как можно меньше. Чем больше ее значение в кабеле, тем сильнее искажение сигнала и меньше полоса пропускания данного

кабеля. Чем больше частота сигнала и больше емкость кабеля, тем меньше сопротивление для тока при данном напряжении.

- **Уровень защиты от внешнего электромагнитного излучения.** Его еще называют электрическим шумом. Представляет собой появление наводки нежелательного переменного напряжения в проводнике. Электрический шум бывает фоновый и импульсный, а также низко-, средне- и высокочастотный. Измеряется в милливольтках. Источниками фонового электрического шума в диапазоне до 150 кГц выступают линии электропередачи, лампы дневного света и телефоны. В диапазоне от 150 кГц до 20 МГц электрический шум создает оргтехника: компьютеры, принтеры, ксероксы. В диапазоне от 20 МГц до 1 ГГц - телевизионные и радиопередатчики, СВЧ- печи. Импульсный электрический шум создают электродвигатели, переключатели и сварочные аппараты.

- **Диаметр.** Площадь поперечного сечения проводника. Для кабелей с медным проводником достаточно общепотребительна американская система AWG (American Wire Gauge), вводящая условные типы проводников, например 22AWG, 24 AWG, 26 AWG. Чем выше номер типа проводника, тем меньше его диаметр. В вычислительных сетях чаще всего применяются вышеуказанные примеры проводников. В международных и европейских стандартах диаметр проводника указывается в миллиметрах.

## Виды кабелей

**1.Витая пара** (англ. twisted pair) — вид кабеля связи, представляет собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой (с небольшим числом витков на единицу длины), для уменьшения взаимных наводок при передаче сигнала, и покрытых пластиковой оболочкой. Один из компонентов современных структурированных кабельных систем. Используется в телекоммуникациях и в компьютерных сетях в качестве сетевого носителя во многих технологиях, таких как Ethernet, ARCNet и Token ring. В настоящее время, благодаря своей дешевизне и лёгкости в установке, является самым распространённым для построения локальных сетей.

В зависимости от наличия защиты — электрически заземлённой медной оплетки или алюминиевой фольги вокруг скрученных пар, определяют разновидности данной технологии:

- неэкранированная витая пара (UTP — Unshielded twisted pair)
- экранированная витая пара (STP — Shielded twisted pair)
- фольгированная витая пара (FTP — Foiled twisted pair)
- фольгированная экранированная витая пара (SFTP — Shielded Foiled twisted pair)

В некоторых типах экранированного кабеля защита может использоваться ещё и вокруг каждой пары, индивидуальное экранирование. Экранирование обеспечивает лучшую защиту от электромагнитных наводок как внешних, так и внутренних, и т. д. Экран по всей длине соединен с неизолированным дренажным проводом, который объединяет экран в случае разделения на секции при излишнем изгибе или растяжении кабеля.

Существует несколько категорий кабеля витая пара, которые нумеруются от CAT1 до CAT7 и определяют эффективный пропускаемый частотный диапазон. Кабель более высокой категории обычно содержит больше пар проводов и каждая пара имеет больше витков на единицу длины. Категории неэкранированной витой пары описываются в стандарте EIA/TIA 568 (Американский стандарт проводки в коммерческих зданиях).

- **CAT1** — (полоса частот 0.1 МГц) телефонный кабель, всего одна пара, известный в России, как «лапша». В США использовался ранее, и проводники были скручены между собой. Используется только для передачи голоса или данных при помощи модема.

- CAT2 — (полоса частот 1 МГц) старый тип кабеля, 2-е пары проводников, поддерживал передачу данных на скоростях до 4 Мбит/с, использовался в сетях token ring и ARCNet. Сейчас иногда встречается в телефонных сетях.
- CAT3 — (полоса частот 16 МГц) 2-х парный кабель, использовался при построении локальных сетей 10BASE-T и token ring, поддерживает скорость передачи данных только до 10 Мбит/с. В отличие от предыдущих двух, отвечает требованиям стандарта IEEE 802.3. Также до сих пор встречается в телефонных сетях.
- CAT4 — (полоса частот 20 МГц) кабель состоит из 4-х скрученных пар, использовался в сетях token ring, 10BASE-T, 10BASE-T4, скорость передачи данных не превышает 16 Мбит/с, сейчас не используется.
- CAT5 — (полоса частот 100 МГц) 4-х парный кабель, это и есть, то, что обычно называют кабель «витая пара», благодаря высокой скорости передачи, до 100 Мбит/с при использовании 2-х пар и до 1000 Мбит/с, при использовании 4-х пар, является самым распространённым сетевым носителем, используемым в компьютерных сетях до сих пор. При прокладке новых сетей пользуются несколько усовершенствованным кабелем CAT5 (полоса частот 125 МГц), который лучше пропускает высокочастотные сигналы.
- CAT6 — (полоса частот 250 МГц) применяется в сетях Fast Ethernet и Gigabit Ethernet, состоит из 4-х пар проводников и способен передавать данные на скорости до 10000 Мбит/с. Добавлен в стандарт в июне 2002 года. Существует категория CAT6e, в которой увеличена частота пропускаемого сигнала до 500 МГц. По данным IEEE 70 % установленных сетей в 2004 году, использовали кабель категории CAT6, однако возможно это просто дань моде, поскольку кабель CAT5 и CAT5e вполне справляется в сетях 10GBASE-T
- CAT7 — Спецификация на данный тип кабеля пока не утверждена, скорость передачи данных до 10000 Мбит/с, частота пропускаемого сигнала до 600—700 МГц. Кабель этой категории экранирован.

**2. Коаксиальные кабели** существуют в большом количестве типов, используемых в телевизионных, телефонных и компьютерных сетях. Это так называемый "толстый" коаксиальный кабель и различные варианты "тонкого" коаксиального кабеля, который обладает худшими механическими и электрическими характеристиками, чем "толстый". Зато "тонкий" коаксиальный кабель более удобен для монтажа, что и объясняет его более широкое использование. Стандарт EIA/TIA -568A не описывает коаксиальные кабели с волновым сопротивлением 50 Ом как морально устаревшие.

**3. Волоконно-оптический кабель** Простейший оптический кабель состоит из некоторого количества оптических волокон, как правило, кратного двум, окружённых общей защитной оболочкой.

Оптическое волокно состоит из:

- сердцевины,
- оптической оболочки,
- защитного покрытия,
- буферного покрытия (опционально).

Стоимость самого волоконно-оптического кабеля примерно равна стоимости кабеля на витой паре, но стоимость монтажных работ обходится намного дороже из-за дорогого монтажного оборудования и трудоемкости соединения кабеля с разъемом. При некачественном соединении резко уменьшается полоса пропускания оптоволоконного кабеля и линии на его основе.

Использование кабеля. Превалирующее большинство компаний, предоставляющих услуги доступа в Интернет, используют в своей работе оптоволоконно и витую пару. Основные трассы между зданиями строятся на основе оптоволоконного кабеля, что обеспечивает

высокую скорость на этих участках, а непосредственно к квартире пользователя подводится неэкранированная витая пара пятой категории, характеристики которой вполне отвечают требованиям на этом участке сети. Такой вариант позволяет обеспечить сочетание невысокой стоимости подключения, так как монтажные работы, связанные с подключением по витой паре, не требуют больших усилий и приемлемой скорости работы в Интернете. Именно этот способ подключения через локальные сети можно считать наиболее современным, подключение же по коаксиальному кабелю постепенно уходит в прошлое в силу своей высокой стоимости, при том, что качество связи не выше, чем при работе через сочетание "оптоволокно - витая пара".

## **2.7 Лабораторная работа №21-24 (8 часов).**

**Тема:** «Принцип построения радиорелейных и тропосферных станций»

**2.7.1 Цель работы:** Теоретически познакомиться с радиорелейными и тропосферными станциями, принципами их построения, а также их прикладного использования.

### **2.7.2 Задание для работы:**

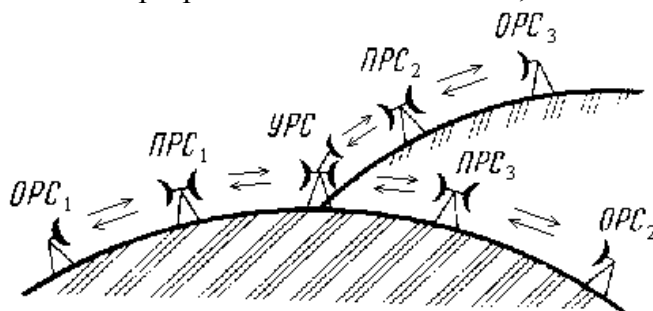
1. Принцип построения радиорелейных станций.
2. Принцип построения тропосферных станций.

### **2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Персональный компьютер с установленным специальным ПО.
2. Мультимедийное оборудование

### **2.7.4 Краткое описание проводимого занятия:**

Радиосистема передачи, в которой сигналы электросвязи передаются с помощью наземных ретрансляционных станций, называется радиорелейной системой передачи



Сегодня РРЛ стали важной составной частью сетей электросвязи – ведомственных, корпоративных, региональных, национальных и даже международных, поскольку имеют ряд важных достоинств, в том числе:

- возможность быстрой установки оборудования при небольших капитальных затратах;
- экономически выгодная, а иногда и единственная, возможность организации многоканальной связи на участках местности со сложным рельефом;

- возможность применения для аварийного восстановления связи в случае бедствий, при спасательных операциях и в других случаях;
- эффективность развертывания разветвленных цифровых сетей в больших городах и промышленных зонах, где прокладка новых кабелей слишком дорога или невозможна;
- высокое качество передачи информации по РРЛ, практически не уступающие ВОЛС и другим кабельным линиям.

Современные радиорелейные линии связи позволяют передавать телевизионные программы и одновременно сотни и тысячи телефонных сообщений. Для таких потоков информации требуются полосы частот до нескольких десятков, а иногда и сотен мегагерц и соответственно несущие не менее нескольких гигагерц. Известно, что радиосигналы на этих частотах эффективно передаются лишь в пределах прямой видимости. Поэтому для связи на большие расстояния в земных условиях приходится использовать ретрансляцию радиосигналов. На радиорелейных линиях прямой видимости в основном применяют активную ретрансляцию, в процессе которой сигналы усиливаются.

Протяженность пролетов  $R$  между соседними станциями зависит от профиля рельефа местности и высот установки антенн. Обычно ее выбирают близкой к расстоянию прямой видимости  $R_0$ , км. Для гладкой сферической поверхности Земли и без учета атмосферной рефракции:

$$R_0 = 3.57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (6.1)$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – высоты подвеса соответственно передающей и приемной антенн (в метрах). В реальных условиях, в случае мало пересеченной местности  $R_0 = 40 \dots 70$  км, а  $h_1$  и  $h_2$  составляют 50...80 м. Принцип радиорелейной связи показан на рисунке 1.1, где отмечены радиорелейные станции трех типов: оконечная (ОРС), промежуточная (ПРС) и узловая (УРС) [1].

Пролет (интервал) РРЛ - это расстояние между двумя ближайшими станциями.

Участок (секция) РРЛ - это расстояние между двумя ближайшими обслуживаемыми станциями (УРС или ОРС).

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

С помощью УРС обычно решают задачи разветвления и объединения потоков информации, передаваемых по разным РРЛ, на пересечении которых и располагается УРС. К УРС относят также станции РРЛ, на которых осуществляется ввод и вывод телефонных, телевизионных и других сигналов, посредством которых, расположенный вблизи от УРС населенный пункт связывается с другими пунктами данной линии.

На ОРС и УРС всегда имеется технический персонал, который обслуживает не только эти станции, но и осуществляет контроль и управление с помощью специальной системы телеобслуживания ближайшими ПРС. Участок РРЛ (300...500 км) между соседними

обслуживаемыми станциями делится примерно пополам так, что одна часть промежуточных станций входит в зону телеобслуживания одной УРС.

Радиорелейные линии, использующие эффект дальнего тропосферного распространения ультракоротких волн (УКВ), называются тропосферными радиорелейными линиями (ТРРЛ). Соседние станции ТРРЛ обычно располагаются на расстоянии 300...400 км, а в отдельных случаях (при благоприятных условиях распространения УКВ) и 600...800 км. Возможность перекрывать такие большие расстояния является основным преимуществом ТРРЛ. Для нашей страны с ее огромной территорией ТРРЛ представляют особый интерес, поскольку позволяют обеспечить современными средствами связи отдаленные и труднодоступные районы Севера и Дальнего Востока.

Затухание сигнала на участке ТРРЛ велико - 200 дБ и более, сигнал в месте приема имеет многолучевой характер и подвержен случайным флуктуациям - замираниям. Поэтому на ТРРЛ применяются передатчики большой мощности - от нескольких сотен ватт до десятков киловатт, остронаправленные антенны с раскрытием в несколько десятков метров и коэффициентом усиления 45...50 дБ.

Все же и этого оказывается недостаточно, так как средний уровень сигнала на входе приемника оказывается малым. Поэтому на ТРРЛ широко применяются малошумящие усилители СВЧ, пороговые понижающие устройства, а также используется техника разнесенного приема и другие методы борьбы с быстрыми интерференционными замираниями.

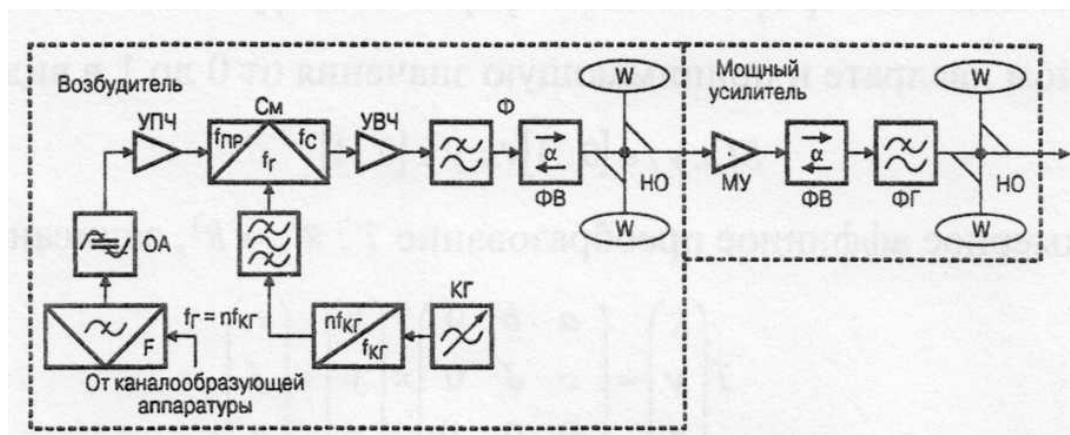
Пропускная способность ТРРЛ обычно составляет 12...60 каналов тональной частоты. Максимальная емкость радиоствола ТРРЛ в некоторых случаях может достигать 120 каналов.

Особенности построения станций ТРРЛ следующие:

- для повышения качества, устойчивости и надежности связи на всех станциях линии передачи обязательно используется разнесенный прием: сдвоенный, счетверенный или большей кратности;
- поскольку на ТРРЛ, как правило, соседние станции удалены друг от друга на значительные расстояния, то почти на каждой промежуточной станции производится демодуляция и повторная модуляция сигнала для выделения некоторого числа каналов тональной частоты.

На ТРРЛ, так же как и на РРЛ прямой видимости, применяются три типа станций; оконечная, промежуточная и узловая (или станция с ответвлениями).

Обобщенная структурная схема передатчика ТРРЛ. Передатчик состоит из (рисунк 9) возбуждителя и мощного усилителя, основой, которых является пролетный клистрон.



Так как для раскачки мощного усилительного клистрона требуется сравнительно большая мощность, то полученные после смесителя колебания высокой частоты усиливаются в УВЧ. Затем через фильтр боковой полосы Ф, который выделяет нижнюю или верхнюю боковую полосу, ферритовый вентиль ФВ, необходимый для согласования выхода УВЧ и входного резонатора клистрона, и направленный ответвитель НО, предназначенный для измерительных целей, колебания подаются на мощный клистронный усилитель МУ.

С выхода клистронного усилителя через мощный ферритовый вентиль ФВ, необходимый для согласования выхода клистронного усилителя с антенно-фидерным трактом, и фильтр гармоник ФГ, защищающий другие радиосредства от помех со стороны данного передатчика, высокочастотная энергия по волноводу поступает в антенну. Направленный ответвитель НО и здесь служит для измерения полезной мощности, а также для организации защиты клистрона. При нарушении согласования в фидере может произойти СВЧ пробой. В результате возникает дуга на выходе клистрона, что может привести к его отказу. В этом случае срабатывает система защиты, действующая от отраженной волны. Эта система снимает высокое напряжение с клистрона, предотвращая его разрушение.

Разнесенный прием. Разнесенный прием является основным способом борьбы с замираниями на ТРРЛ. Разнесенный прием основан на том, что сигнал на выходе приемного устройства образуется комбинацией нескольких входных сигналов, несущих одну и ту же информацию, но по-разному пораженных замираниями. При этом комбинирование осуществляется так, чтобы выходной сигнал флуктуировал значительно меньше, чем входные.

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

Практические занятия РУП не предусмотрены.

### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

Семинарские занятия РУП не предусмотрены.