

## Содержание

### Предисловие

#### 1. Организации стандартизации в области телекоммуникаций

#### 2. Эталонная модель взаимодействия открытых систем

##### 2.1. Общие положения

##### 2.2. Описание уровней эталонной модели OSI

#### 3. Общие понятия о передаче информации

##### 3.1. Основные определения

##### 3.2. Общее определение уровней передачи

##### 3.3. Параметры первичных сигналов

##### 3.4. Обобщенная структурная схема систем электросвязи

##### 3.5. Современные виды электросвязи

#### 4. Основные сведения о сетях электросвязи

##### 4.1. Основные определения

##### 4.2. Сети передачи индивидуальных сообщений

##### 4.3. Сети передачи массовых сообщений

##### 4.4. Структура Взаимоувязанной сети связи

##### 4.5. Демонополизация отрасли связи

#### 5. Линии связи

##### 5.1. Кабельные и воздушные линии связи на основе металлических проводников

##### 5.2. Проблема электромагнитной совместимости

##### 5.3. Волоконно-оптические линии связи

##### 5.4. Кабельные системы

##### 5.5. Радиолинии

#### 6. Системы передачи

##### 6.1. Общие положения

###### 6.1.1. Методы модуляции в системах связи

###### 6.1.2. Кодирование

###### 6.1.3. Основы теории многоканальной передачи сообщений

###### 6.1.4. Обеспечение дальности связи

##### 6.2. Аналоговые системы передачи

###### 6.2.1. Двусторонняя передача сигналов

###### 6.2.2. Каналы связи

###### 6.2.3. Формирование стандартных групповых сигналов

###### 6.2.4. Основные узлы систем передачи

###### 6.2.5. Методы организации двусторонних тактов

###### 6.2.6. Краткая характеристика систем передачи

##### 6.3. Цифровые системы передачи

###### 6.3.1. Особенности построения цифровых систем передачи

###### 6.3.2. Иерархии цифровых систем передачи

###### 6.3.3. Европейская плезиохронная цифровая иерархия

###### 6.3.4. Синхронная цифровая иерархия

###### 6.3.5. Линейные коды

###### 6.3.6. Интерфейс G.703

###### 6.3.7. Волоконно-оптические системы передачи и перспективы их развития

##### 6.4. Системы радиосвязи

###### 6.4.1. Радиолинии и системы передачи сообщений с радиоканалами

###### 6.4.2. Радиопередающие устройства

- [6.4.3. Радиоприемные устройства](#)
      - [6.4.4. Антенны и фидеры](#)
      - [6.4.5. Радиорелейные системы передачи](#)
      - [6.4.6. Тропосферные радиорелейные системы передачи](#)
      - [6.4.7. Радиосистемы передачи на декаметровых волнах](#)
      - [6.4.8. Радиосистемы, использующие ионосферное рассеяние радиоволн и отражение от следов метеоров](#)
    - [6.5. Спутниковые системы связи](#)
  - [7. Принципы построения систем коммутации](#)
    - [7.1. Основные понятия и определения](#)
    - [7.2. Структура коммутационного узла](#)
    - [7.3. Способы установления соединений](#)
  - [8. Вторичные сети](#)
    - [8.1. Оборудование телефонных сетей](#)
      - [8.1.1. Телефонная связь - наиболее массовый и важнейший вид электросвязи](#)
      - [8.1.2. Нумерация абонентских линий на ОАКТС](#)
      - [8.1.3. Основы теории телефонного сообщения](#)
      - [8.1.4. Аппаратура передачи речи](#)
      - [8.1.5. Коммутационные приборы](#)
      - [8.1.6. Принципы построения коммутационных полей](#)
      - [8.1.7. Управляющие устройства АТС](#)
      - [8.1.8. Телефонная сигнализация](#)
    - [8.2. Цифровая обработка аналоговых сигналов](#)
      - [8.2.1. Дискретизация сигнала во времени](#)
      - [8.2.2. Квантование мгновенных значений сигнала](#)
      - [8.2.3. Кодирование и декодирование сигналов](#)
      - [8.2.4. Методы разностного квантования аналоговых сигналов](#)
      - [8.2.5. Параметрическое компандирование речевых сигналов](#)
    - [8.3. Применение телефонных сетей для передачи данных](#)
      - [8.3.1. Общие положения](#)
      - [8.3.2. Общеупотребительные модемные протоколы МСЭ-Т](#)
      - [8.3.3. Экзотические модемные протоколы МСЭ-Т](#)
      - [8.3.4. Общеупотребительные протоколы МСЭ-Т для факсимильных аппаратов](#)
      - [8.3.5. Нестандартные модемные протоколы](#)
    - [8.4. Телевизионные системы](#)
    - [8.5. Системы подвижной радиосвязи](#)
      - [8.5.1. Общие положения](#)
      - [8.5.2. Профессиональные системы подвижной радиосвязи](#)
      - [8.5.3. Сотовые системы](#)
      - [8.5.4. Системы персонального радиовызова](#)
      - [8.5.5. Системы беспроводных телефонов](#)
    - [8.6. Телематические службы](#)
  - [9. Список сокращений](#)
  - [10. Литература](#)

## **Предисловие**

Телекоммуникации являются одной из наиболее быстро развивающихся областей современной науки и техники. Жизнь современного общества уже невозможно представить без тех достижений, которые были сделаны в этой отрасли за немногим более

ста лет развития. Отличительная особенность нашего времени - непрерывно возрастающая потребность в передаче потоков информации на большие расстояния. Это обусловлено многими причинами, и в первую очередь тем, что связь стала одним из самых мощных рычагов управления экономикой страны. Одновременно, претерпевая значительные изменения, становясь многосторонней и всеобъемлющей, электросвязь каждой страны становится все более интегрированной в мировое телекоммуникационное пространство.

В настоящем курсе лекций систематизированы основные сведения о современном состоянии и перспективах развития систем телекоммуникаций: линиях связи, системах передачи и системах коммутации, представляющие физический уровень эталонной модели взаимодействия открытых систем Международной организации стандартизации.

Автор выражает признательность Игорю Владимировичу Крутикову за помощь, оказанную при подготовке иллюстративного материала.

## **1. Организации стандартизации в области телекоммуникаций**

Организации стандартизации в области телекоммуникаций - это организации, цель деятельности которых заключается в создании единых международных стандартов. Отсутствие единых стандартов приводит к несовместимости оборудования различных производителей и, как следствие, невозможности организации международной связи. Организации стандартизации обеспечивают условия для обсуждения прогрессивных технологий, утверждают результаты этих обсуждений в виде официальных стандартов, а также обеспечивают распространение утвержденных стандартов.

Порядок работы организаций стандартизации по принятию стандартов может отличаться. Однако он схож в том, что производится несколько этапов разработки и обсуждения новых технологий, разработки проектов стандартов, голосования по всем или некоторым аспектам этих стандартов и, наконец, официального выпуска завершенных стандартов.

Наиболее известными организациями стандартизации являются следующие:

1. *Международная организация стандартизации* (МОС) (*International Standard Organization - ISO*) - является автором стандартов в различных областях деятельности, включая стандарты по телекоммуникациям. Членами ISO являются национальные организации стандартизации. Участие в ISO является добровольным. Наиболее известным стандартом ISO в области телекоммуникаций является эталонная модель взаимодействия открытых систем.
2. *Телекоммуникационный сектор стандартизации Международного союза электросвязи* (МСЭ-Т) (*Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union - ITU-T*) - специализированный орган ООН, с 1993 года преемник *Международного Консультативного Комитета по Телеграфии и Телефонии* (*МККТТ*) (*Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique - CCITT*) - международная организация, разрабатывающая стандарты в области связи. Кроме МСЭ-Т в состав МСЭ входят Сектор радиосвязи МСЭ-Р (*Radiocommunication Sector - ITU-R*) и Сектор развития электросвязи (*Telecommunication Development Sector - ITU-D*). Стандарты ITU-T охватывают практически всю область телекоммуникаций.

3. *Институт Инженеров по Электротехнике и Электронике* (Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE) - профессиональная организация, разрабатывающая стандарты для сетей. Стандарты локальных сетей LAN являются наиболее известными стандартами IEEE по телекоммуникациям.
4. *Европейский институт стандартизации электросвязи* (European Telecommunications Standards Institute - ETSI). Определяет единую техническую политику в области телекоммуникаций для стран - членов Европейского сообщества. Наиболее известным стандартом ETSI является стандарт сотовой системы подвижной радиосвязи GSM.
5. *Европейская конференция администраций почт и электросвязи* (Conference of European Posts and Telegraphs - CEPT).
6. *Европейская ассоциация производителей ЭВМ* (European Computer Manufacturers Association - ECMA).
7. *Американский Национальный Институт Стандартизации* (American National Standard Institute - ANSI) - является координирующим органом добровольных групп по стандартизации в пределах США. ANSI является членом ISO. Широко известным стандартом ANSI по коммуникациям является FDDI.
  - *Ассоциация Телекоммуникационной Промышленности* (Telecommunication Industrial Association - TIA) - одна из групп ANSI, выпускающая стандарты по телекоммуникациям. Самым известным стандартом TIA является стандарт сотовой системы подвижной радиосвязи США IS-54.
  - *Ассоциация Электронной Промышленности* (Electronic Industrial Association - EIA) - так же одна из групп ANSI.
8. *Федеральная комиссия по связи* (Federal Communication Commission - FCC) США. Правительственная организация США, занимающаяся регулированием в отрасли связи, в том числе распределением спектра радиочастот.
9. *Совет по Регуляции Работы Internet* (Internet Activities Board - IAB) - Совет определяет основную политику в области глобальной сети Internet. Включает в себя два подкомитета: исследовательский - IRTF ( Internet Reseach Task Forse) и стандартизации - IETF (Internet Engineering Task Forse). Стандарты IAB называются "Request for Comments" (RFC) (Запрос для комментария).

Производители оборудования телекоммуникаций, заинтересованные в быстром продвижении некоторой конкретной технологии, также создают организации стандартизации в данной области. В качестве примера можно привести такие организации как *Форум ATM*, *Форум Frame Relay*, *Альянс Gigabit Ethernet* и пр.

В нашей стране работы по стандартизации в области связи наряду с Государственным комитетом по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандартом) проводят также *Министерство связи РФ* и *Государственная комиссия по электросвязи (ГКЭС)* Минсвязи РФ, *Государственная комиссия по распределению частот (ГКРЧ)* Минсвязи РФ и *Главгоссвязьнадзор* России. Наиболее известным стандартом Минсвязи РФ являются "Нормы на электрические параметры каналов ТЧ магистральной и внутризональных первичных сетей", введенные в действие приказом № 43 от 15 апреля 1996 года.

## **2. Эталонная модель взаимодействия открытых систем**

### **2.1. Общие положения**

В начале 80-х годов ISO признала необходимость создания модели сети, на основе которой поставщики оборудования телекоммуникаций могли создавать

взаимодействующие друг с другом сети. В 1984 году такой стандарт был выпущен под названием "Эталонная модель взаимодействия открытых систем" (Open System Interconnect - OSI) или OSI/ISO.

Эталонная модель OSI стала основной архитектурной моделью для систем передачи сообщений. При рассмотрении конкретных прикладных телекоммуникационных систем производится сравнение их архитектуры с моделью OSI/ISO. Эта модель является наилучшим средством для изучения современной технологии связи.

Эталонная модель OSI делит проблему передачи информации между абонентами на *семь* менее крупных и, следовательно, более легко разрешимых задач. Конкретизация каждой задачи производилась по принципу относительной автономности. Очевидно, автономная задача решается легче.

Каждой из семи областей проблемы передачи информации ставится в соответствие один из уровней эталонной модели. Два самых низших уровня эталонной модели OSI реализуются *аппаратным и программным* обеспечением, остальные пять высших уровней, как правило, реализуются *программным* обеспечением. Эталонная модель OSI описывает, каким образом информация проходит через среду передачи (например, металлические провода) от прикладного процесса-источника (например, по передаче речи) до процесса-получателя.



Рис. 2.1. Пример связи уровней OSI

В качестве примера связи типа OSI предположим, что Система А на Рис. 2.1 имеет информацию для отправки в Систему В. Прикладной процесс Системы А общается с Уровнем 7 Системы А (верхний уровень), который общается с Уровнем 6 Системы А, который в свою очередь общается с Уровнем 5 Системы А, и так далее до Уровня 1 Системы А. Задача Уровня 1 - отдавать (а также забирать) информацию в физическую среду. После того, как информация проходит через физическую среду и принимается Системой В, она поднимается через слои Системы В в обратном порядке (сначала Уровень 1, затем Уровень 2 и т.д.), пока она, наконец, не достигнет прикладного процесса Системы В.

Каждый из уровней общается с выше- и нижестоящими уровнями данной системы. Однако для выполнения присущих уровню задач необходимо сообщение с соответствующим уровнем другой системы, т.е. главной задачей Уровня 1 Системы А

является связь с Уровнем 1 Системы В; Уровень 2 Системы А сообщается с Уровнем 2 Системы В и т.д.

Уровневая модель OSI исключает прямую связь между соответствующими уровнями разных систем. Следовательно, каждый уровень Системы А использует услуги, предоставляемые ему смежными уровнями, чтобы осуществить связь с соответствующим ему уровнем Системы В. Нижестоящий уровень называется источником услуг, а вышестоящий - пользователем услуг. Взаимодействие уровней происходит в так называемой точке предоставления услуг. Взаимоотношения между смежными уровнями отдельной системы показаны на Рис. 2.2.

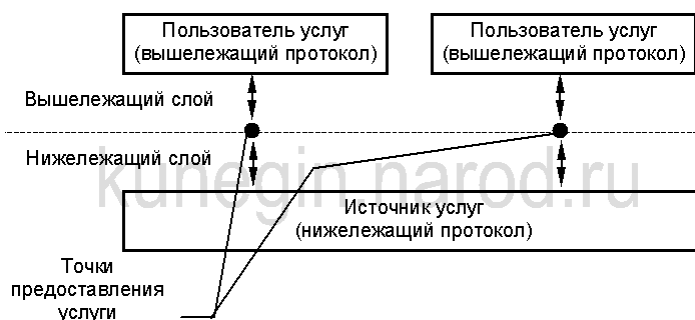


Рис. 2.2. Взаимодействие между уровнями отдельной системы

Обмен управляющей информацией между соответствующими уровнями разных систем производится в виде обмена специальными "заголовками", добавляемыми к полезной информационной нагрузке. Обычно заголовок предшествует фактической прикладной информации. Каждый нижележащий уровень передающей системы добавляет к поступившему от вышележащего уровня информационному блоку свой заголовок с необходимой управляющей информацией для соответствующего уровня другой системы (Рис. 2.3).



Рис. 2.3. Формирование информационных блоков

В принимающей системе производится анализ данной управляющей информации и удаление соответствующего заголовка перед передачей информационного блока вышележащему уровню. Таким образом, размер информационного блока увеличивается

при движении сверху вниз по уровням в передающей системе и уменьшается при движении снизу вверх по уровням в принимающей системе.

Эталонная модель OSI не является реализацией сети. Она только определяет функции протокола каждого уровня.

## 2.2. Описание уровней эталонной модели OSI

Каждый уровень имеет заранее заданный набор функций, которые он должен выполнить для проведения связи.

Прикладной уровень (уровень 7) - это самый близкий к пользователю уровень OSI. Он отличается от других уровней тем, что не обеспечивает услуг ни одному из других уровней OSI. Он обеспечивает услугами прикладные процессы, лежащие за пределами масштаба модели OSI. Примерами таких прикладных процессов могут служить процессы передачи речевых сигналов, базы данных, текстовые процессоры и т.д.

Прикладной уровень идентифицирует и устанавливает наличие предполагаемых партнеров для связи, синхронизирует совместно работающие прикладные процессы, а также устанавливает и согласовывает процедуры устранения ошибок и управления целостностью информации. Прикладной уровень также определяет, имеется ли в наличии достаточно ресурсов для предполагаемой связи.

Представительный уровень (уровень 6) отвечает за то, чтобы информация, посылаемая из прикладного уровня одной системы, была читаемой для прикладного уровня другой системы. При необходимости представительный уровень осуществляет трансляцию между множеством форматов представления информации путем использования общего формата представления информации.

Представительный уровень занят не только форматом и представлением фактических данных пользователя, но также структурами данных, которые используют программы. Поэтому кроме трансформации формата фактических данных (если она необходима), представительный уровень согласует синтаксис передачи данных для прикладного уровня.

Сеансовый уровень (уровень 5) устанавливает, управляет и завершает сеансы взаимодействия между прикладными задачами. Сеансы состоят из диалога между двумя или более объектами представления. Сеансовый уровень синхронизирует диалог между объектами представительного уровня и управляет обменом информацией между ними.

Кроме того, сеансовый уровень предоставляет средства для отправки информации, класса услуг и уведомления в исключительных ситуациях о проблемах сеансового, представительного и прикладного уровней.

Транспортный уровень (уровень 4). Граница между сеансовым и транспортным уровнями может быть представлена как *граница* между протоколами высших (прикладных) уровней и протоколами низших уровней. В то время как прикладной, представительный и сеансовый уровни заняты прикладными вопросами, четыре низших уровня решают проблемы транспортировки данных.

Транспортный уровень обеспечивает услуги по транспортировке данных, что избавляет высшие слои от необходимости вникать в ее детали. Функцией транспортного уровня

является надежная транспортировка данных через сеть. Предоставляя надежные услуги, транспортный уровень обеспечивает механизмы для установки, поддержания и упорядоченного завершения действия каналов, систем обнаружения и устранения неисправностей транспортировки и управления информационным потоком (с целью предотвращения переполнения системы данными из другой системы).

Сетевой уровень (уровень 3) - это комплексный уровень, который обеспечивает возможность соединения и выбор маршрута между двумя конечными системами.

Поскольку две конечные системы, желающие организовать связь, может разделять значительное географическое расстояние и множество подсетей, сетевой уровень является доменом маршрутизации. Протоколы маршрутизации выбирают оптимальные маршруты через последовательность соединенных между собой подсетей. Традиционные протоколы сетевого уровня передают информацию вдоль этих маршрутов.

Канальный уровень (уровень 2) (формально называемый информационно-канальным уровнем) обеспечивает надежный транзит данных через физический канал. Выполняя эту задачу, канальный уровень решает вопросы физической адресации (в противоположность сетевой или логической адресации), топологии сети, линейной дисциплины (каким образом конечной системе использовать сетевой канал), уведомления об ошибках, упорядоченной доставки блоков данных и управления потоком информации.

Физический уровень (уровень 1) определяет электротехнические, механические, процедурные и функциональные характеристики установления, поддержания и разъединения физического канала между конечными системами. Спецификации физического уровня определяют такие характеристики, как величины напряжений, параметры синхронизации, скорость передачи физической информации, максимальные расстояния передачи информации, физические соединители и другие аналогичные характеристики.

Физической средой в различных телекоммуникационных системах могут быть самые разнообразные средства от простейшей пары проводов до сложной системы передачи синхронной цифровой иерархии. Данный курс лекций посвящен рассмотрению именно физических сред и физического уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем.

## **3. Общие понятия о передаче информации**

### **3.1. Основные определения**

Информация - сведения о каких-либо процессах, событиях, фактах или предметах. Известно, что 80..90% информации человек получает через органы зрения и 10..20% - через органы слуха. Другие органы чувств дают в сумме 1..2% информации. Физиологические возможности человека не позволяют обеспечить передачу больших объемов информации на значительные расстояния.

Связь - техническая база, обеспечивающая передачу и прием информации между удаленными друг от друга людьми или устройствами. Аналогия между связью и информацией такая же, как у транспорта и перевозимого груза. Средства связи не нужны, если нет информации, как не нужны транспортные средства при отсутствии груза.



Сообщение - форма выражения (представления) информации, удобная для передачи на расстояние. Различают *оптические* (телеграмма, письмо, фотография) и *звуковые* (речь, музыка) сообщения. *Документальные* сообщения наносятся и хранятся на определенных носителях, чаще всего на бумаге. Сообщения, предназначенные для обработки на ЭВМ, принято называть *данными*.

*Информационный параметр сообщения* - параметр, в изменении которого "заложена" информация. Для *звуковых* сообщений информационным параметром является мгновенное значение звукового давления, для *неподвижных* изображений - коэффициент отражения, для *подвижных* - яркость свечения участков экрана.

По характеру изменения информационных параметров различают непрерывные и дискретные сообщения.

Сигнал - физический процесс, отображающий передаваемое сообщение. Отображение сообщения обеспечивается изменением какой-либо физической величины, характеризующей процесс. Эта величина является *информационным параметром сигнала*.

Сигналы, как и сообщения, могут быть *непрерывными* и *дискретными*. Информационный параметр непрерывного сигнала с течением времени может принимать любые мгновенные значения в определенных пределах. Непрерывный сигнал часто называют *аналоговым*. Дискретный сигнал характеризуется конечным числом значений информационного параметра. Часто этот параметр принимает всего два значения. На Рис. 3.1 показаны виды аналогового и дискретного сигналов.

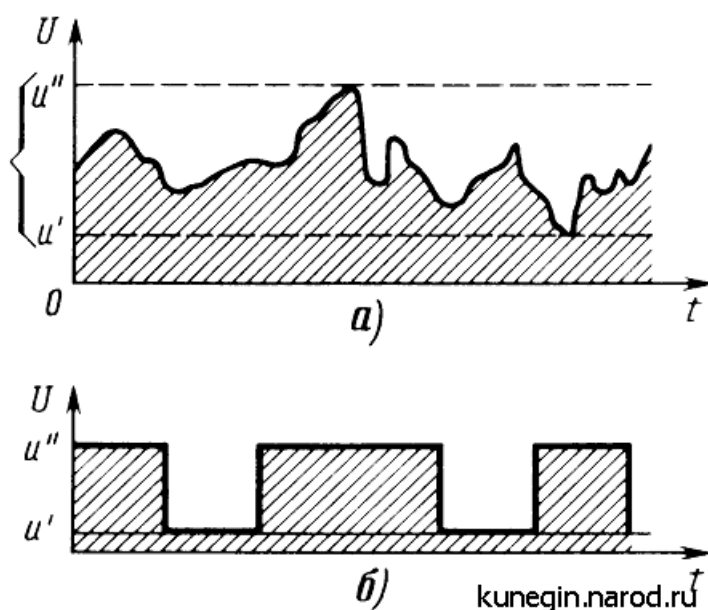


Рис. 3.1. Виды сигналов: а - аналогового, б - дискретного

В дальнейшем будем рассматривать принципы и средства связи, основанные на использовании электрической энергии в качестве переносчиков сообщений, т.е. *электрических сигналов*. Выбор электрических сигналов для переноса сообщений на расстояние обусловлен их *высокой скоростью распространения* (около 300 км/мс).

### 3.2. Общее определение уровней передачи

В технике связи наряду с абсолютными единицами измерения параметров электрических сигналов (мощность, напряжение и ток) широко используются относительные единицы.

Уровнем передачи сигнала в некоторой точке канала или тракта называют логарифмическое преобразование отношения энергетического параметра  $S$  (мощности, напряжения или тока) к отсчетному значению этого же параметра.

Правило преобразования определяется формулой:

$$\rho = m \log_a \frac{S}{S_0}, \text{ где } m - \text{ масштабный коэффициент; } a - \text{ основание логарифма.}$$

Уровни передачи измеряются в децибелах, если справедливы соотношения:

$$\rho_M = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \text{ дБм;}$$

для уровней по мощности

$$\rho_H = 20 \lg \frac{U}{U_0}, \text{ дБн;}$$

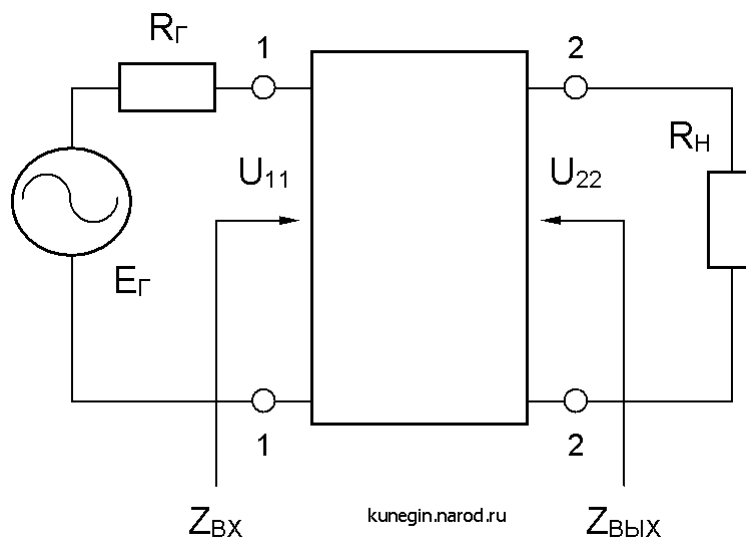
для уровней по напряжению

Уровень передачи называется абсолютным, если  $P_0=1$  мВт. Если теперь задать  $R_0$ , то при заданных значениях мощности и сопротивления легко получить соответствующие величины напряжения  $U_0$  и тока  $I_0$ :  $U_0 = \sqrt{P_0 R_0}$ ;  $I_0 = \sqrt{P_0 / R_0}$ .

При  $R_0=600$  Ом в практических расчетах принимают округленные значения: для  $U_0=0,775$  В, а для  $I_0=1,29$  мА.

Измерительные уровни служат для определения уровней передачи с помощью измерительных приборов, называемых указателями уровня.

Для измерения уровня наиболее часто применяется схема известного генератора, показанная на Рис. 3.2.



### Рис. 3.2. Схема известного генератора

В этой схеме ко входу исследуемого объекта, например некоторого четырехполюсника, подключается генератор испытательного сигнала с полностью определенными параметрами, т.е. должно быть известно его выходное сопротивление  $R_{Г}$ , развиваемая ЭДС  $E_{Г}$  (или напряжение на входе объекта  $U_{ВХ}$ ). Входное сопротивление объекта  $R_{Г}$  также должно быть известно. К выходу объекта подключается указатель уровня с входным сопротивлением, равным номинальному значению сопротивления нагрузки; реальная нагрузка при этом отключается.

В качестве испытательного при измерении уровней передачи чаще всего применяют одночастотный синусоидальный сигнал, частота которого также должна быть известна, а начальная фаза, как правило, не фиксируется.

Если по значению параметров подключенный генератор испытательного сигнала обладает свойством нормального, т.е. его внутреннее сопротивление равно 600 Ом, развиваемая ЭДС равна 1,55 В, то измеренный на сопротивлении  $R_{Н}$  уровень называется измерительным.

### 3.3. Параметры первичных сигналов

Описание сигналов электросвязи некоторым образом необходимо для их адекватной обработки в процессе передачи. Описанием сигнала может служить некоторая функция времени. Определив так или иначе данную функцию, определяем и сигнал. Однако такое полное определение сигнала не всегда требуется. Достаточно описание в виде нескольких *параметров*, характеризующих основные свойства сигнала с точки зрения его передачи.

Если провести аналогию с транспортированием грузов, то для транспортной сети определяющими параметрами груза являются его масса и габариты. Сигнал также является объектом транспортирования, а техника связи - техникой транспортирования (передачи) сигналов по каналам связи.

Основными первичными сигналами электросвязи являются: телефонный, звукового вещания, факсимильный, телевизионный, телеграфный, передачи данных.

Телефонный (речевой) сигнал. Звуки речи образуются в результате прохождения воздушного потока из легких через голосовые связки и полости рта и носа. Частота импульсов основного тона ( $f_0$  на Рис. 3.3) лежит в пределах от 50..80 Гц (бас) до 200..250 Гц (женский и детский голоса). Импульсы основного тона содержат большое число гармоник (до 40) ( $2f_0, \dots, nf_0$  на Рис. 3.3), причем их амплитуды убывают с увеличением частоты со скоростью приблизительно 12 дБ на октаву (кривая 1 на Рис. 3.3). (Напомним, что октавой называется диапазон частот, верхняя частота которого в два раза выше нижней. Т.о. амплитуда гармоники  $2f_0$  на 12 дБ больше, чем гармоники  $4f_0$  и т.д.). При разговоре частота основного тона  $f_0$  меняется в значительных пределах.

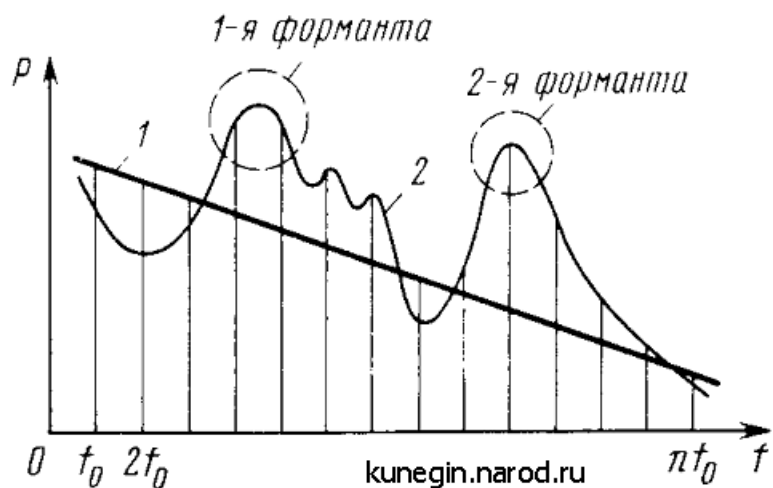


Рис. 3.3. Спектральный состав речевого сигнала

В процессе прохождения воздушного потока из легких через голосовые связки и полости рта и носа образуются звуки речи, причем мощность гармоник частоты основного тона меняется (кривая 2 на Рис. 3.3). Области повышенной мощности гармоник частоты основного тона называются формантами (см. Рис. 3.3). Различные звуки речи содержат от двух до четырех формант. Высокое качество передачи телефонного сигнала характеризуется уровнем громкости, разборчивостью, естественным звучанием голоса, низким уровнем помех. Эти факторы определяют требования к телефонным каналам.

Основными параметрами телефонного сигнала являются:

- мощность телефонного сигнала  $P_{\text{Тлф}}$ . Согласно данным МСЭ-Т средняя мощность телефонного сигнала в точке с нулевым измерительным уровнем на интервале активности составляет 88 мкВт. С учетом коэффициента активности (0,25) средняя мощность телефонного сигнала  $P_{\text{Ср}}$  равна 22 мкВт. Кроме речевых сигналов в канал связи могут поступать сигналы управления, набора номера и пр. С учетом этих сигналов среднюю мощность телефонного сигнала принимают равной 32 мкВт, т.е. средний уровень телефонного сигнала составляет  $p_{\text{Ср}} = 10 \lg (32 \text{ мкВт}/1\text{мВт}) = -15 \text{ дБм0}$ ;
- коэффициент активности телефонного сообщения, т.е. отношение времени, в течение которого мощность сигнала на выходе канала превышает заданное пороговое значение, к общему времени занятия канала для разговора. При разговоре каждый из собеседников говорит приблизительно 50% времени. Кроме того, отдельные слова, фразы отделяются паузами. Поэтому коэффициент активности составляет 0,25..0,35.
- динамический диапазон определяется выраженным в децибелах отношением

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

максимальной и минимальной мощности сигнала

Динамический диапазон телефонного сигнала составляет  $D_C=35...40 \text{ дБ}$ ;

$$Q = 10 \lg \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{Ср}}}$$

- пик-фактор сигнала  $Q$ , который составляет 14 дБ. При этом максимальная мощность, вероятность превышения которой исчезающе мала, равна 2220 мкВт (+3,5 дБм0);

- энергетический спектр речевого сигнала - область частот, в которой сосредоточена

$$L = 10 \lg \left( \frac{\Pi^2(f)}{\Pi_0^2} \right) \cdot \Delta f$$

основная энергия сигнала (Рис. 3.4)  $\Pi^2(f)$  - спектральная плотность среднего квадрата звукового давления;  $\Pi_0$  - порог слышимости (минимальное звуковое давление, которое начинает ощущаться человеком с нормальным слухом на частотах 600..800 Гц);  $\Delta f = 1$  Гц. Из Рис.3.4 следует, что речь представляет собой широкополосный процесс, частотный спектр которого простирается от 50..100 Гц до 8000..10000 Гц. Установлено, однако, что качество речи получается вполне удовлетворительным при ограничении спектра частотами 300..3400 Гц. Эти частоты приняты МСЭ-Т в качестве границ эффективного спектра речи. При указанной полосе частот слоговая разборчивость составляет около 90%, разборчивость фраз - более 99% и сохраняется удовлетворительная натуральность звучания.

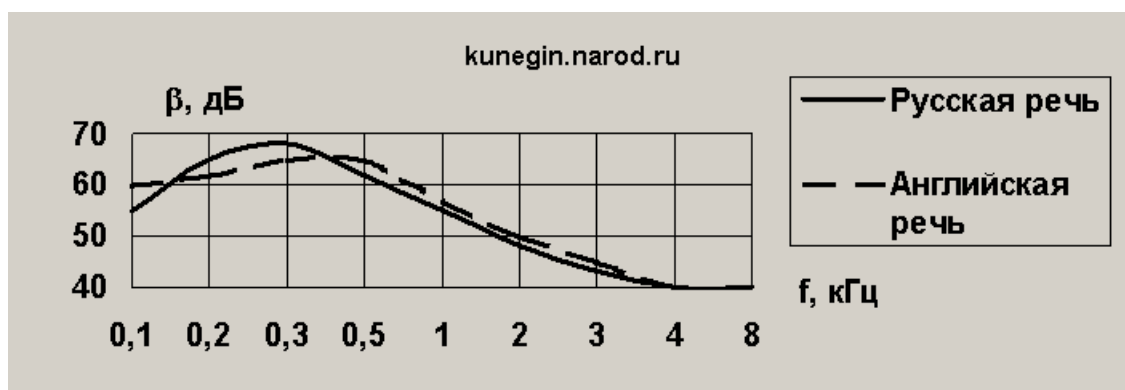


Рис. 3.4. Энергетический спектр речевого сигнала

Сигналы звукового вещания. Источником звука при передаче программ вещания обычно являются музыкальные инструменты или голос человека.

Динамический диапазон вещательной передачи следующий: речь диктора 25..35 дБ, художественное чтение 40..50 дБ, вокальные и инструментальные ансамбли 45..55 дБ, симфонический оркестр до 65 дБ. При определении динамического диапазона максимальным считается уровень, вероятность превышения которого равна 2%, а минимальным - 98%.

Средняя мощность сигнала вещания существенно зависит от интервала усреднения. В точке с нулевым измерительным уровнем средняя мощность составляет 923 мкВт при усреднении за час, 2230 мкВт - за минуту и 4500 мкВт - за секунду. Максимальная мощность сигнала вещания в точке с нулевым измерительным уровнем составляет 8000 мкВт.

Частотный спектр сигнала вещания расположен в полосе частот 15..20000 Гц. При передаче как телефонного сигнала, так и сигналов вещания полоса частот ограничивается. Для достаточно высокого качества (каналы вещания первого класса) эффективная полоса частот должна составлять 0,05..10 кГц, для безукоризненного воспроизведения программ (каналы высшего класса) 0,03...15 кГц.

Факсимильный сигнал формируется методом построчный развертки. Частотный спектр первичного факсимильного сигнала определяется характером передаваемого

изображения, скоростью развертки и размерами сканирующего пятна. Для параметров факсимильных аппаратов, рекомендованных МСЭ-Т, верхняя частота сигнала может составлять 732, 1100 и 1465 Гц. Динамический диапазон сигнала составляет около 25 дБ, пик-фактор равен 4,5 дБ при 16 градациях яркости.

Телевизионный сигнал также формируется методом развертки. Анализ показывает, что энергетический спектр телевизионного сигнала сосредоточен в полосе частот 0..6 МГц. Динамический диапазон  $D_C \approx 40$  дБ, пик-фактор 4,8 дБ.

Основным параметром дискретного сигнала с точки зрения его передачи является требуемая скорость передачи (бит/с).

Аналогичные параметры определяются и для каналов связи. Параметры каналов связи должны быть не меньше соответствующих параметров сигналов.

Свести параметры аналоговых сигналов к единому параметру (скорости передачи) позволяет преобразование этих сигналов в цифровые (см. подраздел 8.2 "Цифровая обработка аналоговых сигналов").

### 3.4. Обобщенная структурная схема систем электросвязи

Система электросвязи - совокупность технических средств и среды распространения, обеспечивающая передачу сообщений. Обобщенная структурная схема систем электросвязи показана на Рис. 3.5.

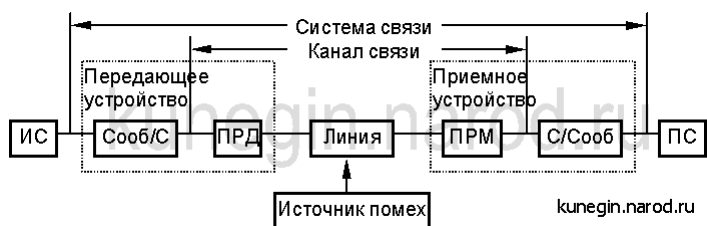


Рис. 3.5. Обобщенная структурная схема систем электросвязи

Сообщение при помощи преобразователя сообщение-сигнал преобразуется в первичный электрический сигнал. Первичные сигналы не всегда удобно (а иногда невозможно) непосредственно передавать по линии связи. Поэтому первичные сигналы при помощи передатчика ПРД преобразуются в так называемые вторичные сигналы, характеристики которых хорошо согласуются с характеристиками линии связи.

Канал связи - совокупность технических устройств (преобразователей) и среды распространения, обеспечивающих передачу сигналов на расстояние.

Каналы и системы связи, использующие искусственную среду распространения (металлические провода, оптическое волокно), называются проводными, а каналы и системы связи, в которых сигналы передаются через открытое пространство - радиоканалами и радиосистемами.

### 3.5. Современные виды электросвязи

Условная классификация современных видов электросвязи показана на Рис. 3.6. Все виды электросвязи по типу передаваемых сообщений могут быть разделены на

предназначенные для передачи звуковых сообщений, оптических сообщений в виде подвижных изображений, оптических сообщений в виде неподвижных изображений и сообщений между ЭВМ. В зависимости от назначения сообщений виды электросвязи могут быть разделены на предназначенные для передачи сообщений индивидуального и массового характера.

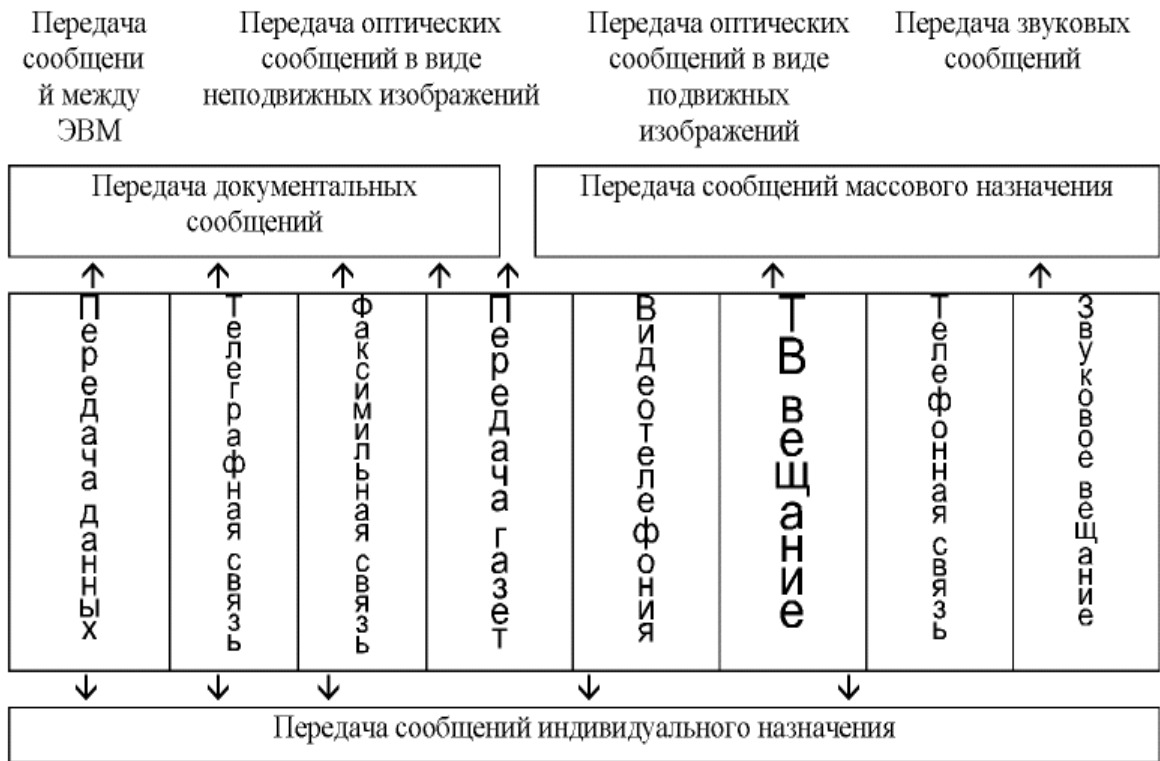


Рис. 3.6. Современные виды электросвязи

Приведенная на Рис. 3.6 классификация достаточно условна, поскольку в последнее время наметилась тенденция объединения видов электросвязи в единую интегральную систему на основе цифровых методов передачи и коммутации для передачи всех видов сообщений.

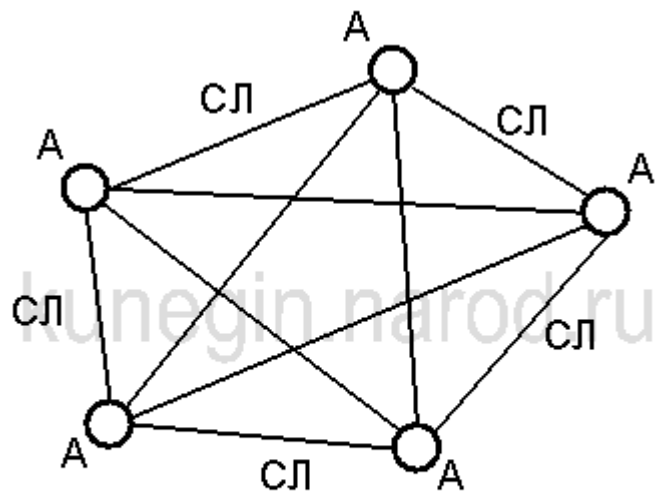
## 4. Основные сведения о сетях электросвязи

### 4.1. Основные определения

Сеть связи - совокупность технических средств, обеспечивающих передачу и распределение сообщений. Принципы построения сетей связи зависят от вида передаваемых и распределяемых сообщений.

В настоящее время применяют следующие принципы построения (топологии) сетей:

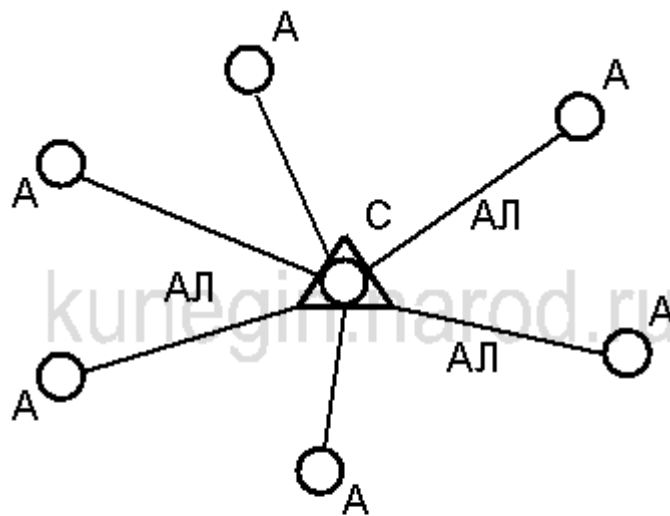
- "каждый с каждым" (Рис. 4.1). Сеть надежна, отличается оперативностью и высоким качеством передачи сообщений. На практике применяется при небольшом числе абонентов;



А - абонентское устройство  
СЛ - соединительная линия

Рис. 4.1. Топология сети "каждый с каждым"

- *радиальный ("звезда")* (Рис. 4.2). Используется при ограниченном числе абонентских пунктов, расположенных на небольшой территории;



А - абонентское устройство  
АЛ - абонентская линия  
С - станция

Рис. 4.2. Топология сети "звезда"

- *радиально-узловой* (Рис. 4.3). Такую структуру имеют городские *телефонные* сети, если емкость сети не превышает 80...90 тысяч абонентов;



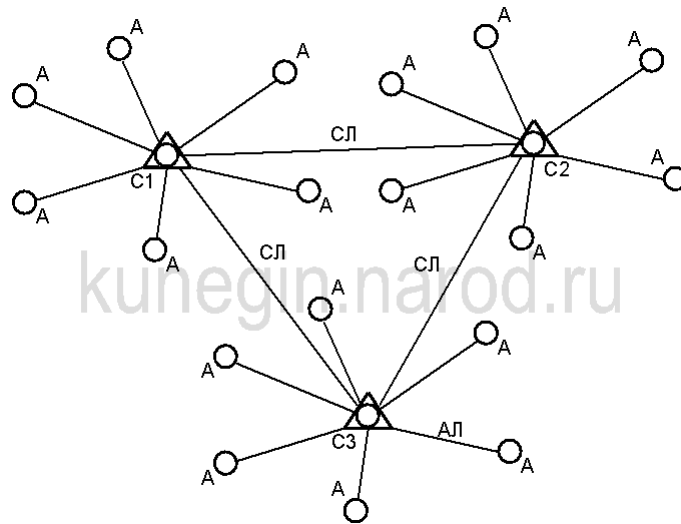


Рис. 4.3. Радиально-узловая топология сети

- радиально-узловой с узловыми районами (Рис. 4.4). Используется при построении телефонных сетей крупных городов.

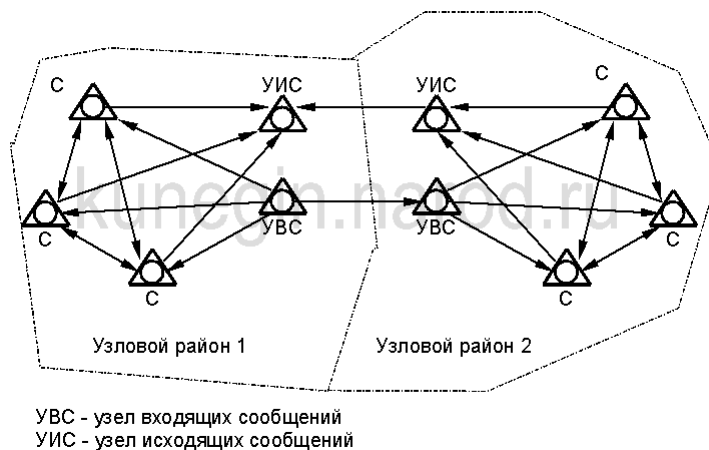


Рис. 4.4. Топология радиально-узловой сети с узловыми районами

*Телеграфные* сети строятся по радиально-узловому принципу с учетом административно-территориального деления страны. Оконечными пунктами телеграфной сети являются либо отделения связи, либо телеграфные абоненты, обладающие телеграфной аппаратурой. Сеть имеет три уровня узловых пунктов: районные, областные и главные. Сеть *передачи данных* имеет схожую структуру. Сеть *факсимильной связи* строится на базе телефонной сети.

## 4.2. Сети передачи индивидуальных сообщений

Для обеспечения передачи индивидуальных сообщений необходимо связать (соединить) оконечные аппараты абонентов. Электрическая цепь (канал), состоящая из нескольких участков и обеспечивающая передачу сигналов между абонентами, называется соединительным трактом.

Процесс поиска и соединения электрических цепей называется коммутацией каналов. Сеть, обеспечивающая коммутацию каналов, называется сетью с коммутацией каналов (СКК). Узловые станции сети СКК называются станциями коммутации.

При передаче документальных сообщений кроме организации связи с коммутацией каналов возможно осуществлять поэтапную передачу сообщения от узла к узлу. Такой способ передачи получил название коммутации сообщений. Соответственно сеть, обеспечивающая коммутацию сообщений, называется сетью с коммутацией сообщений (СКС).

Разновидностью сети СКС является сеть с коммутацией пакетов (СКП). В этом случае полученное от передающего абонента сообщение разбивается на блоки (пакеты) фиксированной длины. Пакеты передаются по сети (необязательно по одному и тому же маршруту) и объединяются в сообщение перед выдачей принимающему абоненту.

Узловые станции сетей СКС и СКП называются центрами коммутации сообщений (ЦКС) и пакетов (ЦКП) соответственно.

### **4.3. Сети передачи массовых сообщений**

Важнейшими сетями передачи массовых сообщений являются сети вещания. Вещание - процесс одновременной передачи различных сообщений общего назначения широкому кругу абонентов с помощью технических средств связи.

Вещательная программа - последовательность передачи во времени различных сообщений. Организация вещания включает в себя две задачи: подготовка вещательных программ и доведение программ до абонентов.

Основными требованиями к сетям вещания являются: охват вещанием всего населения страны, высокое качество передаваемых программ, надежность и экономичность.

Сеть звукового вещания. Распределение программ производится по каналам связи, разветвление - на специальных узлах. Сеть каналов звукового вещания строится по радиально-узловому принципу.

По способу доведения различают *радиовещание* и *проводное* вещание (по специальным проводным линиям или линиям телефонной связи).

Сеть телевизионного вещания. Распределение программ производится по каналам связи, разветвление - на специальных узлах. Сеть ТВ вещания строится по радиально-узловому принципу.

Используется два способа доведения ТВ программ: *радиовещание* с помощью радиотелевизионных передающих станций (РТПС) (эфирное ТВ) и *проводное вещание* (кабельное ТВ). Современной разновидностью эфирного ТВ является спутниковое телевизионное вещание с непосредственным приемом на установки, расположенные у абонентов.

Закономерность распространения радиоволн метрового и дециметрового диапазона, которая будет рассмотрена ниже, ограничивает зону уверенного приема сигналов РТПС пределами оптической (прямой) видимости. Для увеличения зоны уверенного приема необходимо поднимать передающую и приемную антенны. Для типовых РТПС с опорами для антенн высотой 200...350 м радиус зоны обслуживания составляет 60...100 км. Останкинская телебашня при высоте 536 м обеспечивает радиус зоны обслуживания 120...130 км.

Сеть передачи газет. Передача газет обеспечивается факсимильным способом с использованием аналоговой аппаратуры "Газета-2", находящейся в эксплуатации более 20 лет. На территории России имеются 32 пункта приема газет, обычно расположенные непосредственно в типографиях. Пункт разветвления каналов находится на центральной междугородной телефонной станции, поскольку для передачи газет используются телефонные каналы. Газеты передаются ежедневно, по 4...5 ч в сутки. В настоящее время происходит спад нагрузки на данную сеть, поскольку применение аналогового способа передачи не обеспечивает в полной мере требований, предъявляемых полиграфистами.

#### **4.4. Структура Взаимоувязанной сети связи**

В историческом плане все виды электросвязи длительный период развивались независимо друг от друга, в результате чего сформировались несколько независимых сетей. Вместе с тем, сети общего пользования (Министерства связи) не справлялись с требуемыми объемами передачи сообщений, требуемых для нормального экономического развития страны, и поэтому ряд министерств и ведомств стали создавать свои сети для удовлетворения собственных нужд. Такая техническая политика привела к еще большему разобщению технических средств, а эффективность совокупности сетей в масштабах страны оставалась низкой.

Уже в начале 60-х годов стало ясно, что перспективным направлением развития связи должно стать объединение сетей.

Можно выделить следующие предпосылки для объединения сетей: унификация методов преобразования, необходимость передачи сигналов в совпадающих направлениях, сходство функций систем передачи и коммутации.

В 70-х годах было принято решение о создании Единой автоматизированной сети связи (ЕАСС) Союза ССР. Работа по созданию сети ЕАСС не была завершена и прекратилась в связи с развалом СССР.

В настоящее время этот проект, отражая изменение геополитической ситуации и новые революционные достижения в области связи, носит название Взаимоувязанная сеть связи России.

Взаимоувязанная сеть связи (ВСС) - это совокупность технически сопряженных сетей электросвязи общего пользования, ведомственных и других сетей электросвязи на территории России независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности, обеспеченная общим централизованным управлением.

Основными требованиями к ВСС являются надежность и экономичность.

Определенные технические средства ВСС участвуют в процессе передачи *не зависимо от вида* передаваемых сообщений. Совокупность этих элементов образует первичную сеть (ПС) ВСС. Принцип построения первичной сети ВСС показан на Рис. 4.5. В состав ПС входят сетевые узлы, сетевые станции и линии передачи.

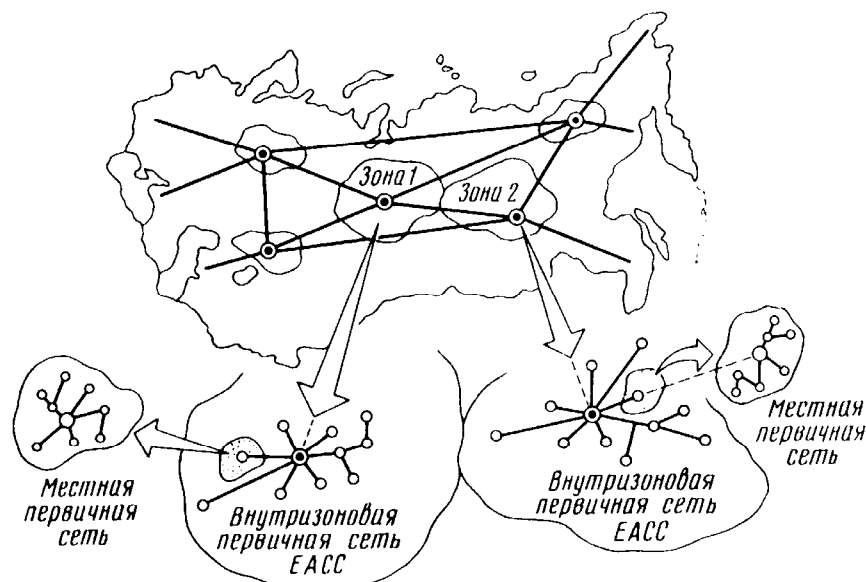


Рис. 4.5. Принцип построения первичной сети ВСС

Структура ПС учитывает административное деление страны. Территория страны поделена на зоны. Признаком зоны - единая 7-значная нумерация. Как правило зоны совпадают с территориями областей. В соответствии с этим делением ПС состоит из отдельных частей:

- местные ПС (МСП) - ограничены территорией города или сельского района;
- внутризональные ПС (ВЗПС) - охватывает территорию зоны и обеспечивает соединение местных сетей внутри зоны;
- магистральная ПС (СМП) - соединяет зональные сети.

Каждая сеть связи, входящая в ВСС, помимо технических средств первичной сети использует устройства, присущие этой сети. Вторичная сеть (ВС) ВСС - совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сообщений *определенного вида*.

В состав ВС входят: оконечные абонентские устройства, абонентские линии (АЛ), коммутационные устройства и каналы, выделенные из ПС для организации данной ВС.

#### 4.5. Демонополизация отрасли связи

До недавнего времени Министерство связи РФ являлось практически единственным оператором связи, предоставлявшим услуги организациям и населению. Ведомственные сети обеспечивали потребности самих организаций.

Однако изменение экономической ситуации в стране и общемировая тенденция отхода от монопольного государственного или частного владения сетями и средствами связи привели к принятию Закона о связи, фактически определяющего основные принципы демонополизации отрасли связи. Закон о связи был принят Государственной Думой 20 января 1995 года и подписан президентом Б.Н.Ельциным 16 февраля 1995 года. Этот закон определяет правовую основу деятельности в области связи в России; полномочия органов государственной власти по регулированию функционирования и развития отрасли связи; права и обязанности физических и юридических лиц, участвующих в указанной деятельности и пользующихся ее результатами. Кроме того, Правительство РФ Постановлением № 878 от 04.09.95 утвердило программу демонополизации отрасли связи.

В настоящее время свыше тысячи предприятий имеют лицензии Министерства связи РФ на предоставление услуг электросвязи. Потребность абонентов в современных высококачественных услугах связи, и, соответственно, готовность абонентов платить за услуги формируют значительный сектор рынка.

Однако традиционным монопольным операторам связи во всем мире и, в том числе, Министерству связи в России, отягощенным громадным количеством коммутационного и каналообразующего оборудования со значительными (до 20 и более лет) сроками окупаемости, тяжело проводить полномасштабную модернизацию своих сетей для соответствия современным потребностям в услугах связи. Демонополизация в отрасли связи приведет к появлению новых агрессивных операторов связи, которые будут стучать в двери буквально каждого потенциального клиента, завлекать его более низкими ценами, повышенным качеством и разнообразием услуг.

Операторы ведомственных сетей наряду с ростом услуг связи для собственных пользователей будут предоставлять услуги своих сетей прочим пользователям. Уже сейчас наметился рост конкуренции между традиционными операторами (Минсвязи) и альтернативными поставщиками услуг связи на базе сетей энергосистем, газопроводов, железных дорог и метрополитенов. Можно привести примеры проектов компаний "Макомнет", "Метроком" и "Раском", проложивших волоконно-оптические линии связи по туннелям метро Москвы и Санкт-Петербурга, а также вдоль Октябрьской железной дороги. АО "Газком" намерено развернуть собственную систему космической связи на базе спутников "Ямал".

Демонополизация отрасли связи и, как ее результат, конкуренция операторов будет выигрышна для абонентов, что на базе развития современных телекоммуникационных технологий выразится в расширении количества и повышении качества услуг связи при снижении их стоимости.

## **5. Линии связи**

### **5.1. Кабельные и воздушные линии связи на основе металлических проводников**

Существующие типы линий связи (ЛС) в зависимости от используемой среды распространения сигналов принято делить на проводные и линии в атмосфере (радиолинии).

К линиям связи предъявляются следующие основные требования:

- осуществление связи на практически требуемые расстояния;
- широкополосность и пригодность для передачи различных видов сообщений;
- защищенность цепей от взаимных влияний и внешних помех, а также от физических воздействий (атмосферных явлений, коррозии и пр.);
- стабильность параметров линии, устойчивость и надежность связи;
- экономичность системы связи в целом.

В простейшем случае проводная ЛС - физическая цепь, образуемая парой металлических проводников. Кабельные ЛС (кабели связи) образованы проводами с изоляционными покрытиями, помещенными в защитные оболочки. По конструкции и взаимному

расположению проводников различают *симметричные* (СК) и *коаксиальные* (КК) кабели связи (Рис. 5.1).

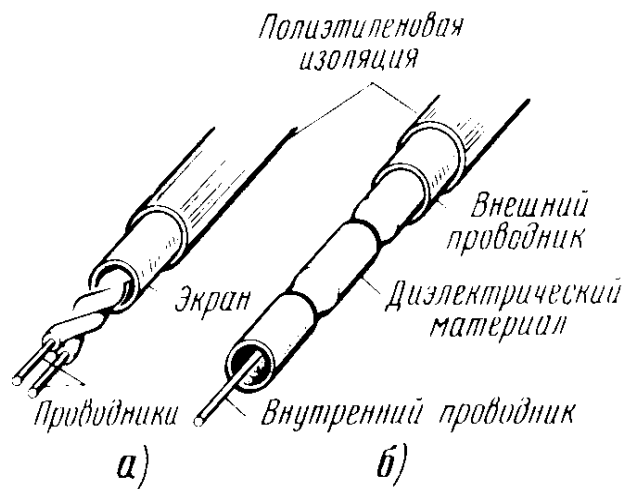


Рис. 5.1. Типичный вид симметричного (а) и коаксиального (б) кабеля

*Симметричная цепь* состоит из двух совершенно одинаковых в электрическом и конструктивном отношении изолированных проводников. В зарубежных источниках СК часто называют "витая пара" (TP - twisted pair). Различают экранированные (shielded) и неэкранированные (unshielded) СК.

*Коаксиальная цепь* представляет собой два цилиндра с совмещенной осью, причем один цилиндр - сплошной внутренний проводник, концентрически расположен внутри другого полого цилиндра (внешнего проводника). Проводники изолированы друг от друга диэлектрическим материалом.

Рассмотрим основные параметры кабелей с металлическими проводниками.

Коэффициент затухания  $\alpha$ , дБ/км. Зависит от свойств материалов проводников и изоляционного материала. Наилучшими свойствами (малым сопротивлением) обладают медь и серебро. Коэффициент затухания зависит также от геометрических размеров проводников. СК с большими диаметрами проводников обладают меньшим коэффициентом затухания. Коэффициент затухания КК зависит от соотношения диаметров внешнего и внутреннего проводника (Рис. 5.2). Оптимальными соотношениями являются (материал внешнего проводника): для меди - 3.6, для алюминия - 3.9, для свинца - 5.2.

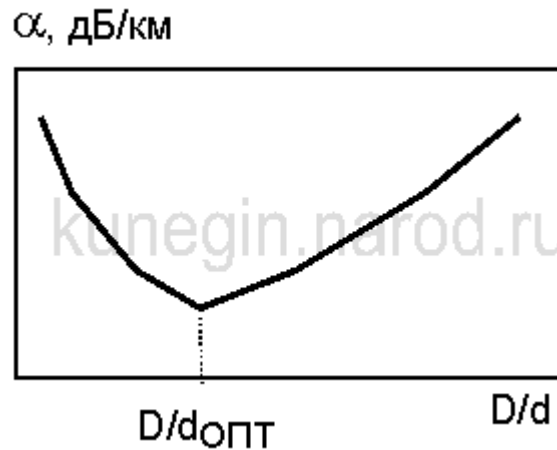


Рис. 5.2. Зависимость коэффициента затухания КК от соотношения диаметров проводников

Очень важной характеристикой, фактически определяющей широкополосность системы связи, является зависимость коэффициента затухания от частоты (Рис. 5.3). Если определен граничный коэффициент затухания  $\alpha_{\text{ГР}}$  (обычно он определяется возможностями усилителей или регенераторов (см. подраздел 6.1.4)), то данному коэффициенту соответствует граничная частота пропускания системы  $f_{\text{ГР}}$ . Полоса пропускания системы не превышает граничной частоты пропускания.

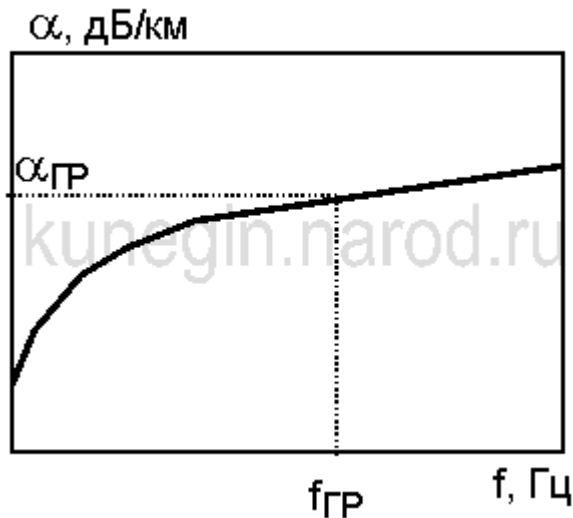


Рис. 5.3. Частотная зависимость коэффициента затухания металлического кабеля

Скорость распространения  $v$ , км/мс. Частотная зависимость скорости распространения показана на Рис. 5.4. С ростом частоты скорость распространения увеличивается, приближаясь к скорости света в вакууме  $v_{\text{с}} \approx 300$  км/мс. Данный параметр зависит также от свойств диэлектрика, применяемого в кабеле.

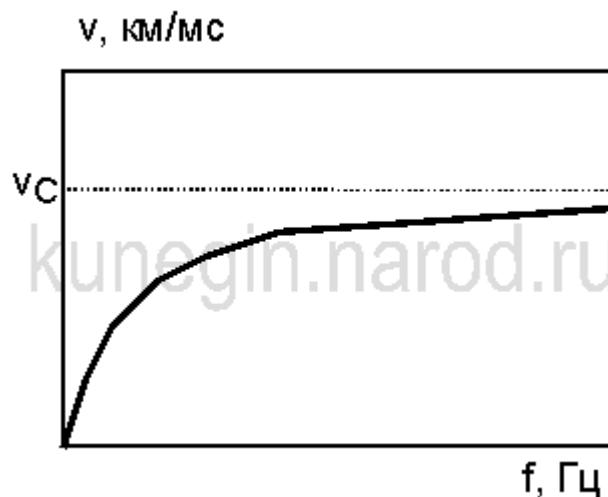


Рис. 5.4. Частотная зависимость скорости распространения электромагнитной волны

Волновое сопротивление  $Z_B$  (Ом) - сопротивление, которое встречает электромагнитная волна при распространении вдоль однородной линии без отражения, т.е. при условии, что на процесс передачи не влияют несогласованности на концах линии. Волновое сопротивление СК зависит от удельных значений емкости и индуктивности кабеля. Для

КК волновое сопротивление определяется как  $Z_B = \frac{1}{2\pi} Z_D \ln \frac{D}{d}$ , где  $Z_D$  - волновое сопротивление диэлектрика,  $D$  и  $d$  - соответственно диаметры внешнего и внутреннего проводников.

Основные требования к СК определены в рекомендации МСЭ-Т G.613. Диаметр жилы СК обычно составляет 0.4...1.2 мм. СК обычно используются в диапазоне частот до 10 МГц. Основные параметры КК приведены в Табл. 5.1.

Табл.5.1

Тип КК	Диаметр проводника внешний/внутренний, мм	Рекомендация МСЭ-Т	Рабочая полоса частот, МГц
Мини-КК	0.7 / 2.9	G.621	0.2...20
Малогобаритный КК	1.2 / 4.4	G.622	0.06...70
Нормализованный КК	2.6 / 9.5	G.623	0.06...300

В настоящее время выпускается широкая номенклатура кабелей, отличающихся в зависимости от назначения, области применения, условий прокладки и эксплуатации и пр.

На Рис. 5.5 приведен пример конструкции кабеля для магистральной сети КМБ-8/7. В конструкции кабеля предусмотрено несколько коаксиальных цепей разного типа, несколько симметричных пар, а также отдельные изолированные жилы. Последние обычно используются для технологических целей.



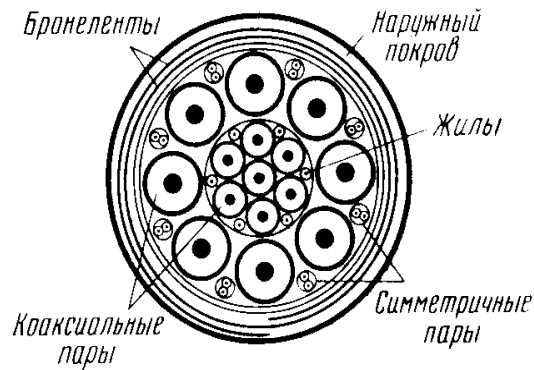


Рис. 5.5. Пример конструкции кабеля (кабель КМБ-8/7)

Воздушные ЛС (ВЛС) не имеют изолирующего покрытия между проводниками, роль изолятора играет слой воздуха. Проводники выполняются, в основном, из биметаллической сталемедной (сталеалюминевой) проволоки. Внутренний диаметр стальной проволоки обычно составляет 1.2...4 мм, толщина внешнего слоя меди (алюминия) - 0.04...0.2 мм. Проволока подвешивается на деревянных или железобетонных опорах с помощью фарфоровых изоляторов. Используемый частотный диапазон ВЛС не превышает 150 кГц.

## 5.2. Проблема электромагнитной совместимости

Цепи ЛС постоянно находятся под воздействием сторонних электромагнитных полей различного происхождения. Различают две основные группы источников сторонних полей:

- *внутренние* - соседние физические и искусственные цепи данной линии связи;
- *внешние* - энергетически и конструктивно не связанные с линией связи.

Внешние источники помех в свою очередь по своему происхождению делятся на:

- *естественные* - грозовые разряды, солнечная радиация и пр.;
- *созданные человеком* - высоковольтные линии передачи, радиостанции, линии электрифицированных железных дорог, электрические сети промышленных предприятий и отдельные энергоёмкие устройства.

Сторонние электромагнитные поля индуцируют в цепях линий связи помехи, которые не только снижают качество передачи, но иногда возбуждают большие напряжения и токи, приводящие к разрушению линий связи и аппаратуры. Указанные воздействия называют электромагнитными влияниями или просто влияниями на цепи линий связи.

Данная проблема является общей для всех систем и устройств телекоммуникаций и называется проблемой электромагнитной совместимости. Сущность ее состоит в том, что в процессе проектирования, строительства и эксплуатации телекоммуникационных устройств и систем необходимо учитывать два противоречивых требования:

- необходимо обеспечить достаточную для нормальной работы телекоммуникационных систем защиту от воздействия на них сторонних электромагнитных полей;

- необходимо ограничить допустимыми значениями уровни влияния электромагнитных полей проектируемых устройств и систем на другие устройства.

При количественной оценке уровня взаимных влияний обычно рассматривают две цепи: *влияющую* (создающую электромагнитное поле) и *подверженную влиянию* (в которой индуцируются помехи) (Рис. 5.6).



Рис. 5.6. Взаимное влияние цепей

*Ближним концом* линии называют тот, к которому подключен генератор, *дальним концом* - тот, к которому подключена нагрузка цепи. Соответственно рассматриваются мощности сигналов в цепях:  $P_{10}$  - на ближнем конце влияющей цепи,  $P_{1L}$  - на дальнем конце влияющей цепи,  $P_{20}$  - на ближнем конце цепи, подверженной влиянию,  $P_{2L}$  - на дальнем конце цепи, подверженной влиянию.

Количественно защищенность от переходных помех из-за взаимных электромагнитных влияний оценивается рядом показателей, в том числе *переходным затуханием на ближнем*

*конце линии* (near end cross talk - NEXT)  $A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{20}} \right|$ , *переходным затуханием на*

*дальнем конце линии* (far end cross talk - FEXT)  $A_L = 10 \lg \left| \frac{P_{1L}}{P_{2L}} \right|$ .

### 5.3. Волоконно-оптические линии связи

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с линиями связи на основе металлических кабелей. К ним относятся: большая пропускная способность, малое затухание, малые масса и габариты, высокая помехозащищенность, надежная техника безопасности, практически отсутствующие взаимные влияния, малая стоимость из-за отсутствия в конструкции цветных металлов.

В ВОЛС применяют электромагнитные волны оптического диапазона. Напомним, что видимое оптическое излучение лежит в диапазоне длин волн 380...760 нм. Практическое применение в ВОЛС получил *инфракрасный* диапазон, т.е. излучение с длиной волны более 760 нм.

Принцип распространения оптического излучения вдоль оптического волокна (ОВ) основан на отражении от границы сред с разными показателями преломления (Рис. 5.7). Оптическое волокно изготавливается из кварцевого стекла в виде цилиндров с совмещенными осями и различными коэффициентами преломления. Внутренний цилиндр называется *сердцевиной* ОВ, а внешний слой - *оболочкой* ОВ.

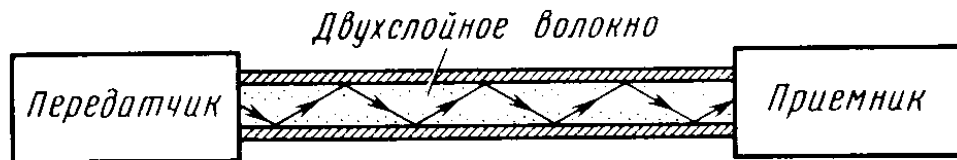


Рис. 5.7. Принцип распространения оптического излучения

*Угол полного внутреннего отражения*, при котором падающее на границу двух сред излучение полностью отражается без проникновения во внешнюю среду, определяется соотношением  $\theta_{кр} = \arccos(n_2/n_1)$ , где  $n_1$  - показатель преломления сердечника ОВ,  $n_2$  - показатель преломления оболочки ОВ, причем  $n_1 > n_2$ . Излучение должно вводиться в волокно под углом к оси меньшим  $\theta_{кр}$ .

В зависимости от вида профиля показателя преломления сердцевинки различают *ступенчатые* и *градиентные* ОВ. У ступенчатых ОВ показатель преломления сердцевинки постоянен (Рис. 5.8, а). У градиентных ОВ показатель преломления сердцевинки плавно меняется вдоль радиуса от максимального значения на оси до значения показателя преломления оболочки (Рис. 5.8, б).

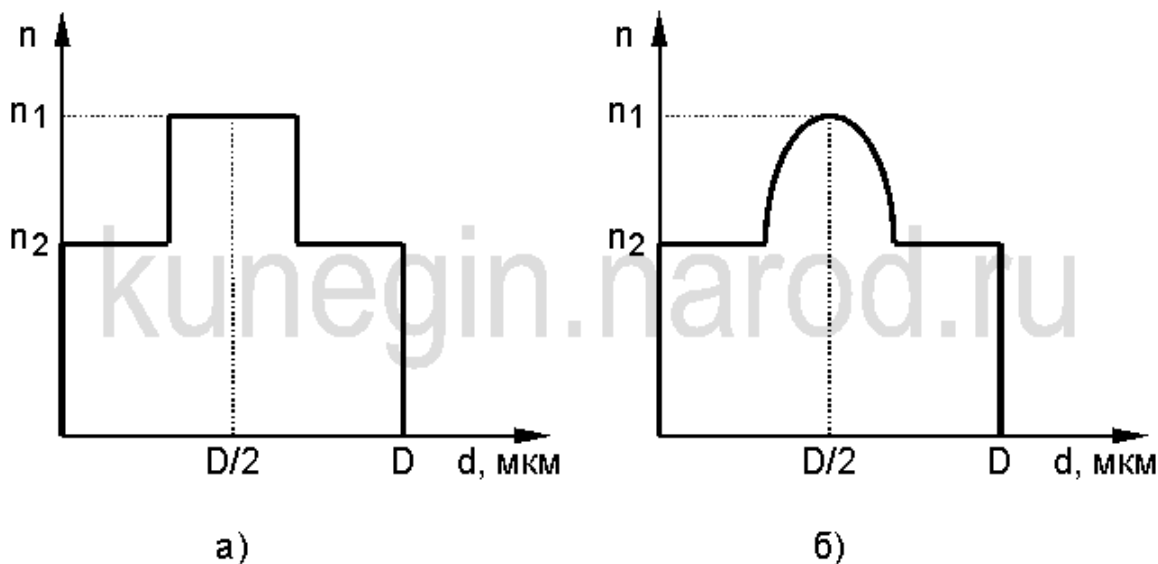


Рис. 5.8. Профиль показателя преломления ступенчатого (а) и градиентного (б) ОВ

В ОВ может одновременно существовать несколько типов волн (мод). В зависимости от модовых характеристик ОВ со ступенчатым профилем преломления делятся на два вида: *многомодовые* и *одномодовые*.

$$V = \frac{D \pi}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Количество мод зависит от значения нормированной частоты  $V$ , где  $D$  - диаметр сердцевины ОВ,  $\lambda$  - рабочая длина волны. Одномодовый режим реализуется при  $V < 2.405$ . Заранее определенными и сравнительно малыми величинами являются рабочая длина волны и разность показателей преломления  $\delta_n = n_1 - n_2$ . Обычно ОВ изготавливают с величиной  $\delta_n = 0.003 \dots 0.05$ . Поэтому диаметр сердцевины одномодовых волокон также является малой величиной и составляет 5...15 (обычно 9 или 10) мкм.

Для многомодовых волокон диаметр сердцевины составляет около 50 (обычно 50 или 62,5) мкм. Диаметр оболочки у всех типов ОВ 125 мкм. Диаметр защитного покрытия - 500 мкм. Наружный диаметр кабеля с числом ОВ от 2..32 с учетом всех защитных оболочек и элементов обычно составляет 5..17 мм.

На Рис. 5.9 приведен пример конструкции оптического кабеля.

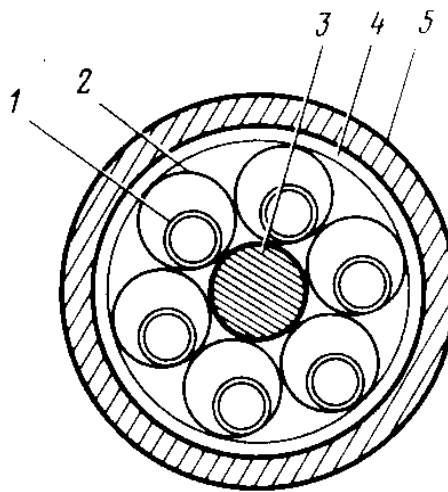


Рис. 5.9. Конструкция оптического кабеля: 1 - ОВ, 2 - полиэтиленовая трубка, 3 - силовый элемент, 4 и 5 - соответственно внутренняя и внешняя полиэтиленовые оболочки

Затухание ОВ неоднородно для разных длин волн. Зависимость коэффициента затухания ОВ от рабочей длины волны приведена на Рис. 5.10. Данная зависимость имеет три минимума, называемые *окнами прозрачности*. Исторически первым было освоено первое окно прозрачности на рабочей длине волны 0.85 мкм.

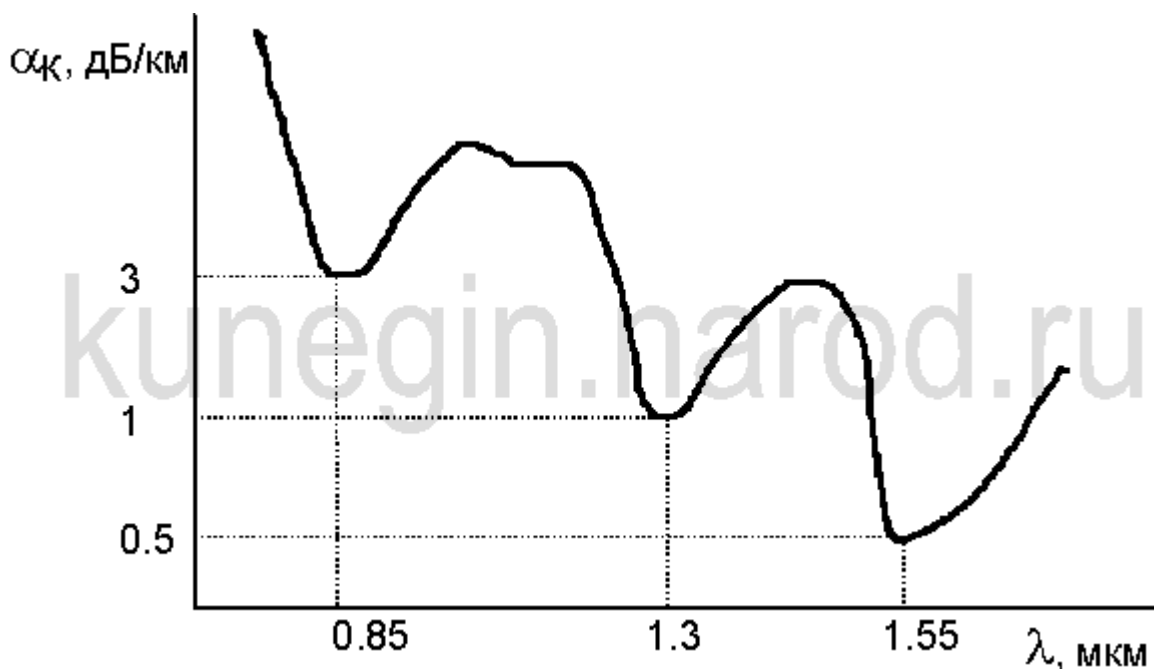


Рис. 5.10. Спектральная характеристика коэффициента затухания ОВ

Первые полупроводниковые излучатели (лазеры и светодиоды) и фотоприемники были разработаны именно для данной длины волны. Коэффициент затухания в первом окне значителен и составляет единицы дБ/км. Позднее были созданы излучатели и фотоприемники, способные работать на больших длинах волн (1,3 и 1,55 мкм). Современные системы связи обычно используют второе или третье окно с малыми коэффициентами затухания. Современная технология позволяет получить ОВ с коэффициентом затухания порядка сотых долей дБ/км.

#### 5.4. Кабельные системы

В настоящее время проводные линии связи широко используются при построении локальных сетей. Данные линии связи стандартизированы и обычно называются *структурированной кабельной проводкой* или *кабельной системой*. Известны кабельные системы категорий 3, 4, 5 стандартов EIA/TIA-568, TSB-36, TSB-40 специального подкомитета TR41.8.1. Приведем основные параметры проводки:

1. Длина горизонтальных кабелей - не более 90 м независимо от типа кабеля.
2. К применению допускаются кабели четырех типов: 4-парный из неэкранированных витых пар с волновым сопротивлением 100 Ом; 2-парный из экранированных витых пар с волновым сопротивлением 150 Ом; коаксиальный с волновым сопротивлением 50 Ом; волоконно-оптический с волокнами диаметром 62,5/125 мкм;
3. Типы соединителей: модульный 8-контактный RJ-45; 4-контактный по стандарту IEEE 802.5; коаксиальный BNC; оптический не определен.
4. На каждом рабочем месте устанавливается не меньше 2 розеток;
5. Разводка кабелей должна соответствовать топологии "звезда".

#### 5.5. Радиолинии

В радиолиниях связи средой распространения электромагнитных волн в подавляющем большинстве случаев (за исключением случая связи между космическими аппаратами)

является атмосфера Земли. На Рис. 5.11 приведено упрощенное строение атмосферы Земли.

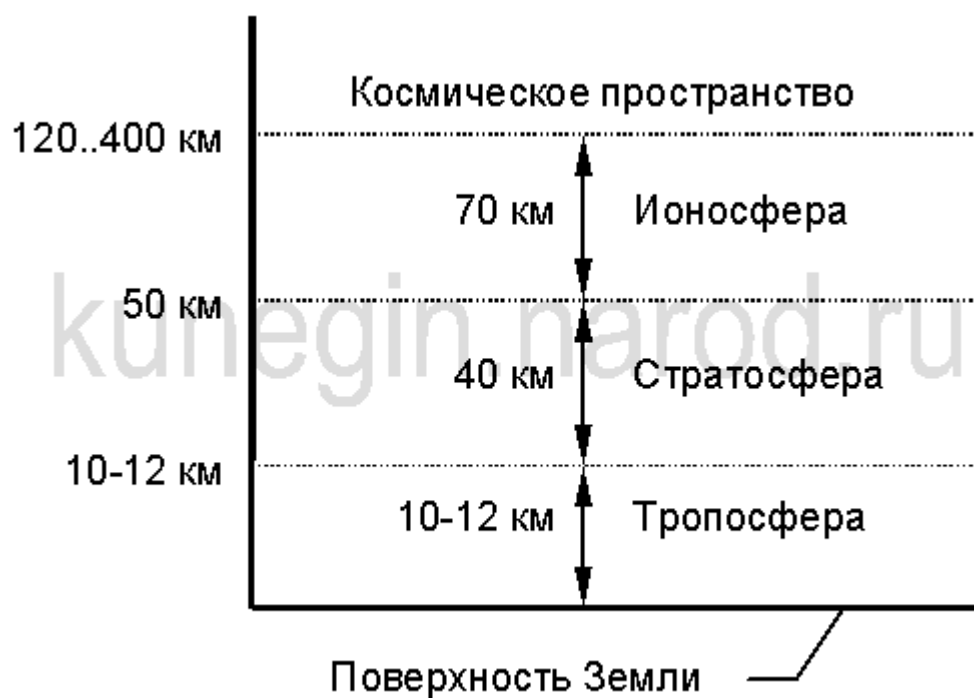


Рис. 5.11. Строение атмосферы Земли

Реально строение атмосферы более сложно и приведенное деление на тропосферу, стратосферу и ионосферу достаточно условно. Высота слоев приведена приблизительно и различна для разных географических точек Земли. В тропосфере сосредоточено около 80% массы атмосферы и около 20% - в стратосфере. Плотность атмосферы в ионосфере крайне мала, граница между ионосферой и космическим пространством является условным понятием, так как следы атмосферы встречаются даже на высотах более 400 км. Считается, что плотные слои атмосферы заканчиваются на высоте около 120 км.

Типичный вид радиолинии показан на Рис. 5.12. Линия может состоять из двух оконечных станций. Типичным примером таких радиолиний являются линии сетей передачи сообщений массового характера (сети телевизионного и радиовещания). Радиолиния может содержать несколько промежуточных переприемных станций. Так строятся линии радиорелейных систем передачи.



Рис. 5.12. Типичный вид радиолинии

Классификация и способы распространения радиоволн приведены в Табл. 5.2 и Табл. 5.3. Деление радиоволн на диапазоны установлено Международным регламентом радиосвязи МСЭ-Р.

Табл.5.2

Вид радиоволн	Тип радиоволн	Диапазон радиоволн (длина волны)	Номер диапазона	Диапазон частот	Вид радиочастот
Мириаметровые	Сверхдлинные	10..100 км	4	3..30 кГц	Очень низкие (ОНЧ)
Километровые	Длинные	1..10 км	5	30..300 кГц	Низкие (НЧ)
Гектометровые	Средние	100..1000 м	6	300..3000 кГц	Средние (СЧ)
Декаметровые	Короткие	10..100 м	7	3..30 МГц	Высокие (ВЧ)
Метровые		1..10 м	8	30..300 МГц	Очень высокие (ОВЧ)
Дециметровые	Ультракороткие	10..100 см	9	300..3000 МГц	Ультравысокие (УВЧ)
Сантиметровые		1..10 см	10	3..30 ГГц	Сверхвысокие (СВЧ)
Миллиметровые		1..10 мм	11	30..300 ГГц	Крайневысокие (КВЧ)
Децимиллиметровые		0.1..1 мм	12	300..3000 ГГц	Гипервысокие (ГВЧ)

Табл.5.3

Вид радиоволн	Основные способы распространения радиоволн	Дальность связи
Мириаметровые и километровые (сверхдлинные и длинные)	Дифракция	До тысячи км
	Отражение от Земли и ионосферы	Тысячи км
Гектометровые (средние)	Дифракция	Сотни км
	Преломление в ионосфере	Тысячи км
Декаметровые (короткие)	Преломление в ионосфере и отражение от Земли	Тысячи км
Метровые и более короткие	Свободное распространение и отражение от Земли	Десятки км
	Рассеяние в тропосфере	Сотни км

Радиоволны, излучаемые передающей антенной, прежде чем попасть в приемную антенну, проходят в общем случае сложный путь. На величину напряженности поля в точке приема оказывает влияние множество факторов. Основные из них:

- отражение электромагнитных волн от поверхности Земли;

- преломление (отражение) в ионизированных слоях атмосферы (ионосфере);
- рассеяние на диэлектрических неоднородностях нижних слоев атмосферы (тропосфере);
- дифракция на сферической выпуклости Земли;

Также напряженность поля в точке приема зависит от длины волны, освещенности земной атмосферы Солнцем и ряда других факторов.

## 6. Системы передачи

### 6.1. Общие положения

Высокая стоимость линий связи обуславливает разработку систем и методов, позволяющих одновременно передавать по одной линии связи большое число независимых сообщений, т.е. использовать линию многократно. Такие системы связи называют многоканальными. Связь, осуществляемую с помощью этих систем, принято называть *многоканальной*. Практически все современные системы связи за редким исключением являются многоканальными.

В современных сетях связи используются *аналоговые* и *цифровые* системы передачи (СП) с тенденцией постепенного перехода к применению только цифровых систем. Однако предстоит длительный период сосуществования на сетях связи аналоговых и цифровых систем, когда большое число соединений будет устанавливаться с использованием обеих технологий. Для обеспечения в этих условиях заданных характеристик каналов и трактов, гарантирующих высокое качество передачи информации, принципы проектирования цифровых и аналоговых систем передачи должны быть совместимы.

Рассмотрим основные методы и способы, используемые при построении систем передачи.

#### 6.1.1. Методы модуляции в системах связи

Прежде чем рассматривать собственно методы модуляции в системах связи, рассмотрим основные *способы представления сигналов* электросвязи, принятые для описания методов модуляции.

В технике связи принято использование представления сигналов во временной (см. Рис. 3.1) и частотной областях. Используется стандартное значение частоты  $f$ , единица измерения Гц, и так называемая *круговая частота*  $\omega = 2\pi f$ , единица измерения Рад/с.

Гармонический сигнал вида  $f(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$  представляется в частотной области единственным значением на оси частот. Любой периодический сигнал с периодом  $T_0$  может быть представлен рядом Фурье (гармоническим рядом). Частотная составляющая  $f_0 = 1/T_0$  называется основной гармоникой. Частотные составляющие вида  $Nf_0$ ,  $N=2,3..$  называют высшими гармониками.

Чем больше сигнал отличается от гармонического, тем больше частотных составляющих в его спектральном представлении и тем меньше расстояние (разнос частот) между ними, т.е. шире спектр такого сигнала. Случайные процессы, которыми являются практически все первичные сигналы, имеют непрерывный бесконечный спектр. Однако обычно основная мощность случайного сигнала сосредоточена в определенной полосе частот.



Данное свойство реальных сигналов позволяет использовать для их передачи каналы с ограниченной полосой пропускания.

Наряду с временным и частотным представлениями часто используется представление сигнала в виде *вращающегося вектора* (Рис. 6.1). В данном представлении сигнал может быть разложен (представлен в виде суммы векторов) на синфазную (Re) и квадратурную (Im) составляющие. Длина вектора соответствует амплитуде гармонического сигнала, угол относительно синфазной составляющей - начальной фазе. Тогда на данной так называемой *амплитудно-фазовой плоскости* сигнал может быть представлен в виде точки, соответствующей концу вектора. Такое представление часто используется для описания видов модуляции в современных модемах.

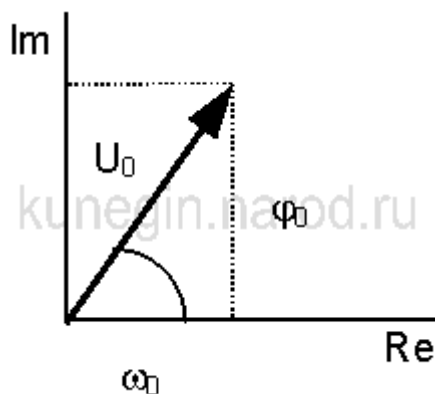


Рис. 6.1. Представление сигнала в виде вращающегося вектора

*Общий принцип модуляции* состоит в изменении одного или нескольких параметров *несущего колебания (переносчика)*  $f(a, b, \dots, t)$  в соответствии с передаваемым сообщением. Так, например, если в качестве переносчика выбрано гармоническое колебание  $f(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ , то можно образовать три вида модуляции: *амплитудную (АМ), частотную (ЧМ) и фазовую (ФМ)*.

Если переносчиком является периодическая последовательность импульсов

$$f(t) = U_0 \sum_{-\infty}^{\infty} f_0(t - T_i - t_0)$$
, то при заданной форме импульсов  $f_0(t)$  можно образовать четыре основных вида импульсной модуляции: *амплитудно-импульсную (АИМ), широтно-импульсную (ШИМ), время-импульсную (ФИМ) и частотно-импульсную (ЧИМ)*. Применение радиоимпульсов позволяет получить еще два вида модуляции: по частоте и по фазе высокочастотного заполнения.

Если модулирующий сигнал является дискретным, то такой тип модуляции называют *манипуляцией*.

Модуляция применяется для преобразования первичных сигналов электросвязи во вторичные и обратно (см. подраздел 3.4). При этом осуществляется передача сигналов по линии или каналу связи с пропускаемой полосой частот с ненулевыми нижней и верхней границами - так называемый *канал с эффективно передаваемой полосой частот (ЭППЧ)*.

Спектр первичного сигнала (верхняя и нижняя частоты) обычно не совпадает с полосой пропускания канала (Рис. 6.2), поэтому спектр сигнала нужно перенести в полосу пропускания канала.

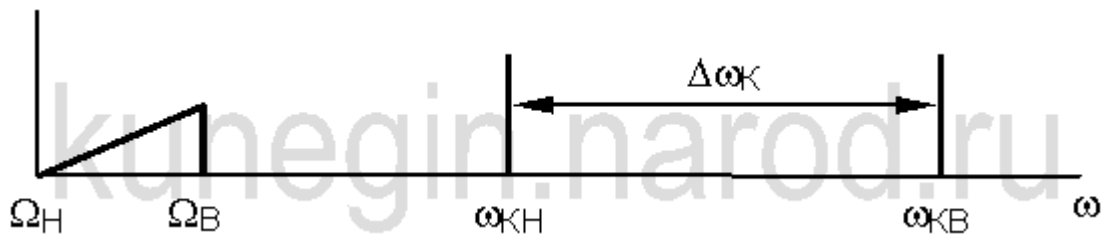


Рис. 6.2. Спектр исходного сигнала и полоса пропускания канала связи/р>

Наиболее просто описывается математически (и реализуется практически) амплитудная модуляция. Рассмотрим АМ на примере, когда роль несущей играет высокочастотное гармоническое колебание  $S_H(t) = U_H \cos(\omega_H t)$  и модулирующий сигнал также является гармоническим колебанием, но только низкой частоты  $S(t) = U \cos(\Omega t)$  (Рис. 6.3).

$$S_{AM}(t) = U_H (1 + m \cdot S(t)) \cos(\omega_H t);$$

$$\begin{aligned} S_{AM}(t) &= U_H (1 + mU \cos(\Omega t)) \cos(\omega_H t) = \\ &= U_H \cos(\omega_H t) + mU_H U \cos(\Omega t) \cos(\omega_H t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{AM}(t) &= U_H \cos(\omega_H t) + 0.5 \cdot mU_H U \cos((\omega_H - \Omega)t) + \\ &+ 0.5 \cdot mU_H U \cos((\omega_H + \Omega)t) \end{aligned}$$

$m \leq 1$  - коэффициент модуляции. В результате АМ образуются так называемые комбинационные частоты или боковые полосы (в случае, если модулирующий сигнал отличается от гармонического) - верхняя и нижняя.

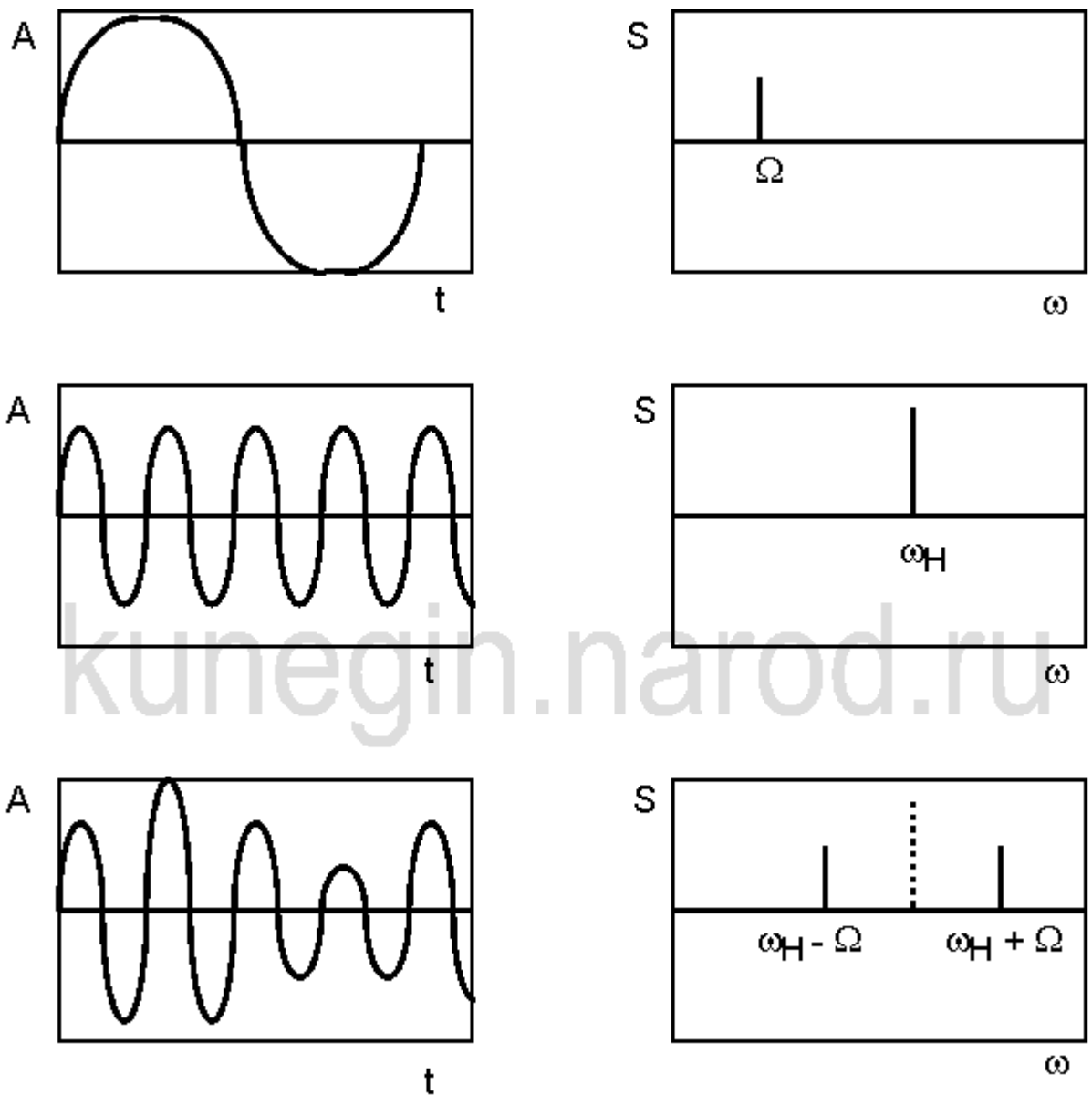


Рис. 6.3. Временное и частотное представление сигналов при АМ

Разновидностью АМ является *балансная модуляция* (АМ с подавленной несущей). Несущая частота не переносит информационный сигнал, но на нее приходится значительная доля мощности сигнала АМ. Поэтому в ряде случаев несущую подавляют. Сигнал балансной модуляции формируется перемножением несущей  $S_H(t) = U_H \cos(\omega_H t)$  и модулирующего сигнала  $S(t) = U \cos(\Omega t)$ .

$$S_H(t) \cdot S(t) = 0.5 \cdot U_H \cdot U \cdot (\cos((\omega_H - \Omega)t) + \cos((\omega_H + \Omega)t))$$

В свою очередь, разновидностью АМ без несущей является *однополосная модуляция* (ОМ) или *амплитудная модуляция с одной боковой полосой* (АМ-ОБП). Такой вид модуляции может быть получен с помощью *линейного модулятора* (Рис. 6.4).

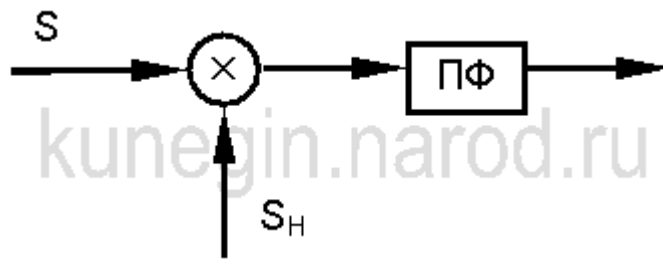


Рис. 6.4. Линейный модулятор

Недостатками АМ и, в частности, линейного модулятора являются:

- В общем случае, необходимость подавления несущей;
- В АМ-сигнале информация дублируется из-за двух боковых полос;
- Сложность выполнения полосового фильтра.

Указанные недостатки, в основном, устраняются при использовании *фазоразностной* схемы (Рис. 6.5). В схеме фазоразностного модулятора происходит подавление одной из боковых полос, а мощность другой боковой полосы удваивается. Недостатком данной схемы является сложность выполнения фазовращателя (ФВ) для всей полосы частот модулирующего сигнала.

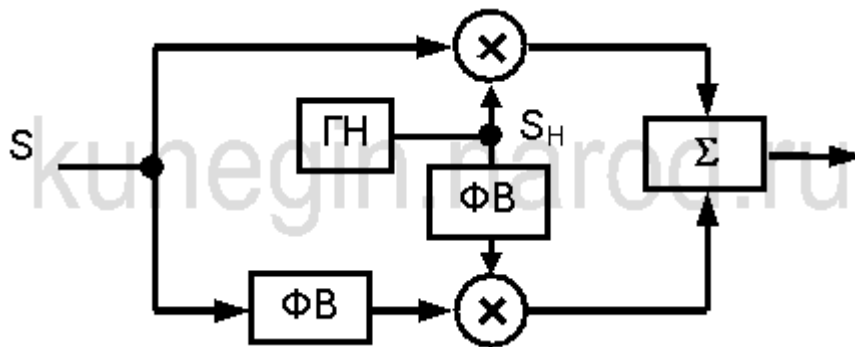


Рис. 6.5. Фазоразностный балансный модулятор

Рассмотрим процесс *демодуляции*. Часто процесс демодуляции называют *детектированием*.

Все методы приема (демодуляции), для реализации которых необходимо точное априорное знание начальных фаз входящих сигналов, называется *когерентным*. В тех случаях, когда сведения о начальных фазах ожидаемых сигналов извлекаются из самого принимаемого сигнала, прием называют *квазикогерентным*. Если сведения о начальных фазах входящих сигналов отсутствуют или их по некоторым соображениям не используют, то прием называют *некогерентным* (Рис. 6.6).

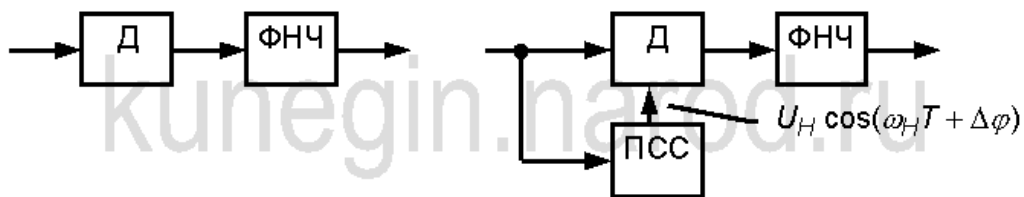


Рис. 6.6. Некогерентный и квазикогерентный прием

Опорный сигнал при когерентном приеме должен иметь те же начальные фазы, что и приходящие сигналы, т.е. должен быть когерентным с приходящими сигналами. Это требование обычно затрудняет реализацию демодулятора и требует введения дополнительных устройств (например, приемник синхросигнала ПСС на Рис. 6.6), обеспечивающих регулировку фаз опорных сигналов.

Помехоустойчивость разных видов модуляции различна. При прочих равных условиях помехоустойчивость ЧМ больше, чем АМ, а помехоустойчивость ФМ больше, чем ЧМ. Однако сложность реализации приемных устройств данных видов модуляции имеет такое же соотношение.

Частотную и фазовую модуляцию рассмотрим на примере модуляции гармонического сигнала (несущей) дискретным (двоичным) сигналом, т.е. случаи частотной и фазовой манипуляции.

При *частотной манипуляции* частота несущего колебания меняется дискретно в зависимости от значения модулирующего сигнала. На практике находит применение не только двоичная ЧМ, но так же 4-х (Рис. 6.7) и 8-уровневая ЧМ. При использовании многоуровневой ЧМ исходная двоичная последовательность разбивается на соответствующее число бит (дибит, трибит и т.д.) для определения одной из возможных частот несущей, передаваемой в данный момент.

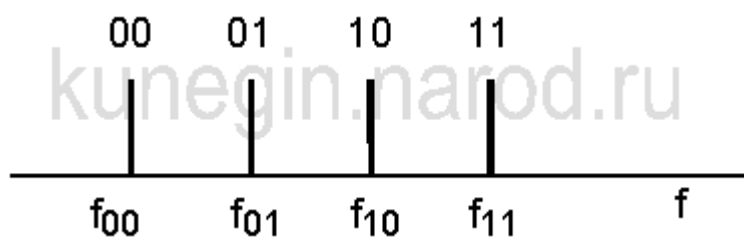


Рис. 6.7. Четырехуровневая частотная манипуляция

Большой интерес представляет *частотная манипуляция с минимальным сдвигом* (ЧММС), при которой фаза манипулированного радиосигнала не имеет скачков при смене текущего значения несущей частоты. Для этого разнос между частотами выбирается таким, чтобы за время длительности одного элемента фаза несущей менялась ровно на  $\pi/2$ . В случае ЧММС эффективность использования полосы выше, чем у обычной ЧМ.

*Фазовая модуляция* в чистом виде не нашла практического применения из-за так называемой "обратной работы", когда при ошибке в приеме одного бита последующие за ним будут приняты инверсно. Практически применяется *относительная фазовая модуляция* (ОФМ), при которой информация представляется не абсолютным значением фазы, а разностью фаз несущей на двух соседних интервалах. Применяются не только двухуровневая, но и многоуровневая (4, 8 и т.д.) ФМ (Рис. 6.8).

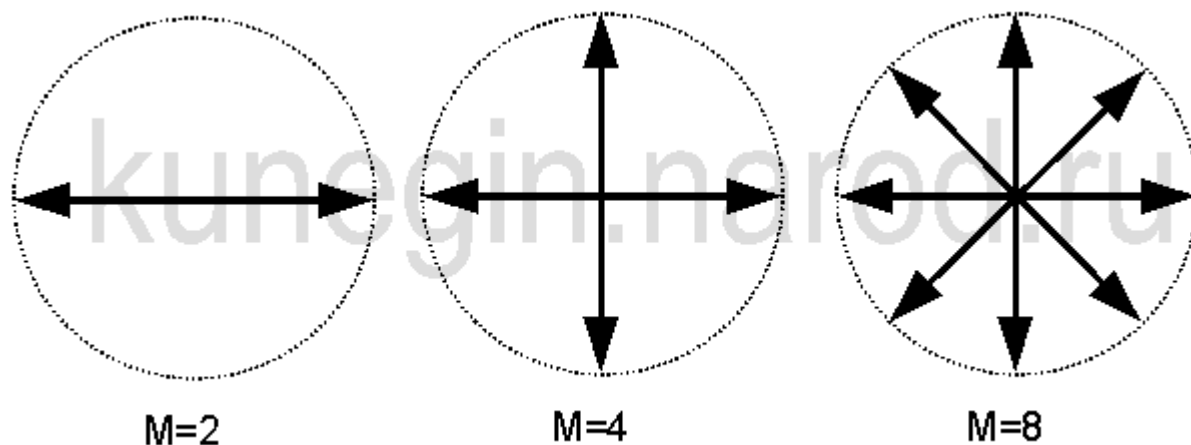


Рис. 6.8. Фазовая манипуляция

Сигнал всех типов ФМ может быть получен с помощью балансной схемы (КАМ-модулятора) (Рис. 6.9), причем обеспечение ОФМ достигается соответствующим изменением битового потока в кодере К.

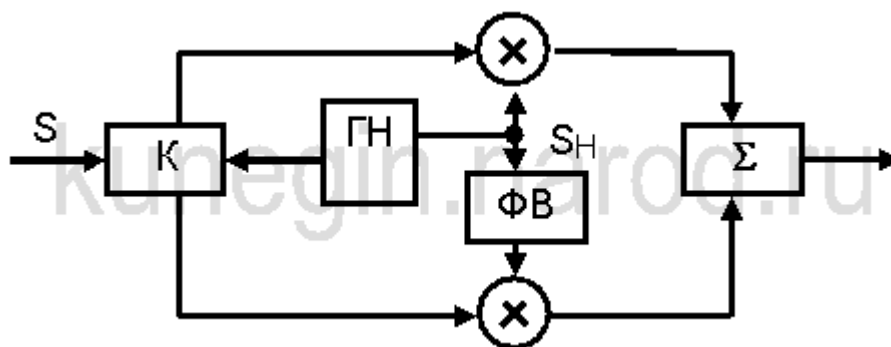


Рис. 6.9. КАМ-модулятор

Широкое применение находит *квадратурная амплитудная манипуляция* (КАМ). Этот вид манипуляции, по существу, представляет собой сочетание АМ и ФМ, в связи с чем его еще называют *амплитудно-фазовой манипуляцией* (АФМ). В случае КАМ изменяется и фаза и амплитуда несущей. Применяются КАМ 4-го уровня и выше (КАМ-4, КАМ-16 (Рис. 6.10), КАМ-64 и т.д.), причем КАМ-4 совпадает с ОФМ 4-го уровня.

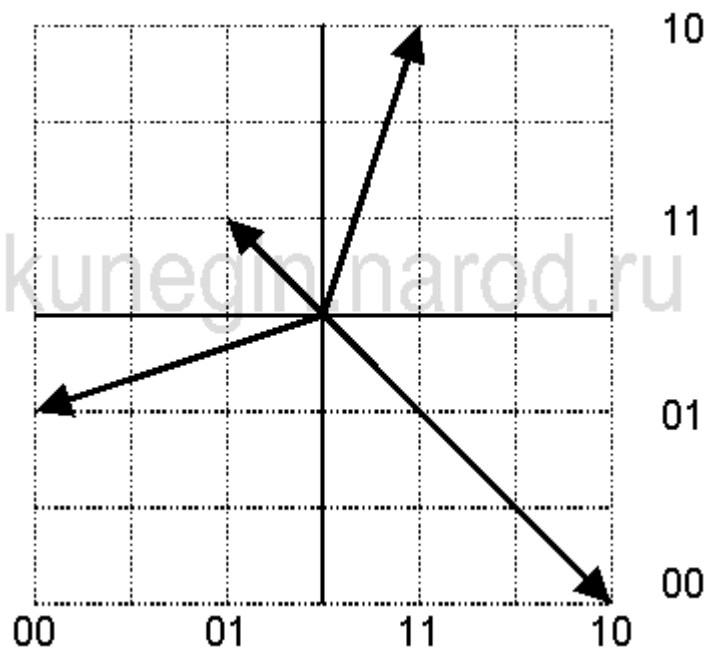


Рис. 6.10. КАМ-16 с примерами сигнальных точек квадрибитов 1110, 1000, 0111, 0001

## 6.1.2. Кодирование

### 6.1.2.1. Общие положения

Преобразование *дискретного* сообщения в сигнал обычно осуществляется в виде двух операций - кодирования и модуляции. Кодирование представляет собой преобразование сообщения в последовательность кодовых символов.

Простейшим примером дискретного сообщения является текст. Любой текст состоит из конечного числа элементов: букв, цифр, знаков препинания. Их совокупность называется алфавитом источника сообщения. Так как число элементов в алфавите конечно, то их можно пронумеровать и тем самым свести передачу сообщения к передаче последовательности чисел.

Так, для передачи букв русского алфавита (их 32) необходимо передать числа от 1 до 32. Для передачи любого числа, записанного в десятичной форме, требуется передача одной из десяти цифр от 0 до 9 для каждого десятичного разряда. То есть для передачи букв русского алфавита нужно иметь техническую возможность передачи и приема десяти различных сигналов, соответствующих различным цифрам.

На практике при кодировании дискретных сообщений широко применяется двоичная система счисления.

При кодировании происходит процесс преобразования элементов сообщения в соответствующие им числа (*кодовые символы*). Каждому элементу сообщения присваивается определенная совокупность кодовых символов, которая называется кодовой комбинацией. Совокупность кодовых комбинаций, обозначающих дискретные сообщения, образует код.

Правило кодирования может быть выражено кодовой таблицей, в которой приводятся алфавит кодируемых сообщений и соответствующие им кодовые комбинации. Множество

возможных кодовых символов называется кодовым алфавитом, а их количество  $m$  - основанием кода.

В общем случае при основании кода  $m$  правила кодирования  $N$  элементов сообщения сводятся к правилам записи  $N$  различных чисел в  $m$ -ичной системе счисления. Число разрядов  $n$ , образующих кодовую комбинацию, называется значностью кода, или длиной кодовой комбинации. В зависимости от системы счисления, используемой при кодировании, различают двоичные и  $m$ -ичные (недвоичные) коды.

Коды, у которых все комбинации имеют одинаковую длину, называют равномерными. Для равномерного кода число возможных комбинаций равно  $m^n$ . Примером такого кода является пятизначный код *Бодо*, содержащий пять двоичных элементов ( $m=2$ ,  $n=5$ ). Число возможных кодовых комбинаций равно  $2^5=32$ , что достаточно для кодирования всех букв алфавита. Применение равномерных кодов не требует передачи разделительных символов между кодовыми комбинациями.

Неравномерные коды характерны тем, что у них кодовые комбинации отличаются друг от друга не только взаимным расположением символов, но и их количеством. Это приводит к тому, что различные комбинации имеют различную длительность. Типичным примером неравномерных кодов является код *Морзе*, в котором символы 0 и 1 используются только в двух сочетаниях - как одиночные (1 и 0) или как тройные (111 и 000). Сигнал, соответствующий одной единице, называется точкой, трем единицам - тире. Символ 0 используется как знак, отделяющий точку от тире, точку от точки и тире от тире. Совокупность 000 используется как разделительный знак между кодовыми комбинациями.

По помехоустойчивости коды делят на простые (примитивные) и корректирующие. Коды, у которых все возможные кодовые комбинации используются для передачи информации, называются простыми, или кодами без избыточности. В простых равномерных кодах превращение одного символа комбинации в другой, например 1 в 0 или 0 в 1, приводит к появлению новой комбинации, т. е. к ошибке.

### 6.1.2.2. **Корректирующие коды**

Корректирующие коды строятся так, что для передачи сообщения используются не все кодовые комбинации  $m^n$ , а лишь некоторая часть их (так называемые *разрешенные* кодовые комбинации). Тем самым создается возможность обнаружения и исправления ошибки при неправильном воспроизведении некоторого числа символов. Корректирующие свойства кодов достигаются введением в кодовые комбинации дополнительных (избыточных) символов.

Декодирование состоит в восстановлении сообщения по принимаемым кодовым символам. Устройства, осуществляющие кодирование и декодирование, называют соответственно кодером и декодером. Как правило, кодер и декодер выполняются физически в одном устройстве, называемым кодеком.

Рассмотрим основные принципы построения *корректирующих кодов* или *помехоустойчивого кодирования*.

Напомним, что расстоянием Хэмминга между двумя кодовыми  $n$ -последовательностями,  $b_i$  и  $b_j$ , которое будем далее обозначать  $d(i; j)$ , является число разрядов, в которых символы этих последовательностей не совпадают.



Говорят, что в канале произошла ошибка кратности  $q$ , если в кодовой комбинации  $q$  символов приняты ошибочно. Легко видеть, что кратность ошибки есть не что иное, как расстояние Хэмминга между переданной и принятой кодовыми комбинациями, или, иначе, вес вектора ошибки.

Рассматривая все разрешенные кодовые комбинации и определяя кодовые расстояния между каждой парой, можно найти наименьшее из них  $d = \min d(i; j)$ , где минимум берется по всем парам разрешенных комбинаций. Это минимальное кодовое расстояние является важным параметром кода. Очевидно, что для простого кода  $d=1$ .

Обнаруживающая способность кода характеризуется следующей теоремой. Если код имеет  $d>1$  и используется декодирование по методу обнаружения ошибок, то все ошибки кратностью  $q<d$  обнаруживаются. Что же касается ошибок кратностью  $q \geq d$ , то одни из них обнаруживаются, а другие нет.

Исправляющая способность кода при этом правиле декодирования определяется следующей теоремой. Если код имеет  $d>2$  и используется декодирование с исправлением ошибок по наименьшему расстоянию, то все ошибки кратностью  $q<d/2$  исправляются. Что же касается ошибок большей кратности, то одни из них исправляются, а другие нет.

Задача кодирования состоит в выборе кода, обладающего максимально достижимым  $d$ . Впрочем, такая формулировка задачи неполна. Увеличивая длину кода  $n$  и сохраняя число кодовых комбинаций  $M$ , можно получить сколь угодно большое значение  $d$ . Но такое "решение" задачи не представляет интереса, так как с увеличением  $n$  уменьшается возможная скорость передачи информации от источника.

Если длина кода  $n$  задана, то можно получить любое значение  $d$ , не превышающее  $n$ , уменьшая число комбинаций  $M$ . Поэтому задачу поиска наилучшего кода (в смысле максимального  $d$ ) следует формулировать так: при заданных  $M$  и  $n$  найти код длины  $n$ , содержащий  $M$  комбинаций и имеющий наибольшее возможное  $d$ . В общем виде эта задача в теории кодирования не решена, хотя для многих значений  $n$  и  $M$  ее решения получены.

На первый взгляд помехоустойчивое кодирование реализуется весьма просто. В память кодирующего устройства (кодера) записываются разрешенные кодовые комбинации выбранного кода и правило, по которому с каждым из  $M$  сообщений источника сопоставляется одна из таких комбинаций. Данное правило известно и декодеру.

Получив от источника определенное сообщение, кодер отыскивает соответствующую ему комбинацию и посылает ее в канал. В свою очередь, декодер, приняв комбинацию, искаженную помехами, сравнивает ее со всеми  $M$  комбинациями списка и отыскивает ту из них, которая ближе остальных к принятой.

Однако даже при умеренных значениях  $n$  такой способ весьма сложный. Покажем это на примере. Пусть выбрана длина кодовой комбинации  $n=100$ , а скорость кода примем равной 0.5 (число информационных и проверочных символов равно). Тогда число разрешенных комбинаций кода будет  $2^{50} \approx 10^{15}$ . Соответственно размер таблицы будет  $100 \times 10^{15} = 10^{17}$  бит  $\approx 10^{16}$  байт = 10000 Тбайт.

Таким образом, применение достаточно эффективных (а значит, и достаточно длинных) кодов при табличном методе кодирования и декодирования технически невозможно.

Поэтому основное направление теории помехоустойчивого кодирования заключается в поисках таких классов кодов, для которых кодирование и декодирование осуществляются не перебором таблицы, а с помощью некоторых регулярных правил, определенных алгебраической структурой кодовых комбинаций.

### 6.1.2.3. Линейные коды

Одним из таких классов являются линейные блочные коды. Линейными называются такие двоичные коды, в которых множество всех разрешенных блоков является линейным пространством относительно операции поразрядного сложения по модулю 2.

Если записать  $k$  линейно-независимых блоков в виде  $k$  строк, то получится матрица размером  $n \times k$ , которую называют порождающей или производящей матрицей кода  $G$ .

Множество линейных комбинаций образует линейное пространство, содержащее  $2^k$  блоков, т.е. линейный код, содержащий  $2^k$  блоков длиной  $n$ , обозначают  $(n, k)$ . При заданных  $n$  и  $k$  существует много различных  $(n, k)$ -кодов с различными кодовыми расстояниями  $d$ , определяемых различными порождающими матрицами. Все они имеют *избыточность*  $\varepsilon_k = 1 - k/n$  или *относительную скорость*  $R_k = k/n$ .

Чаще всего применяют систематические линейные коды, которые строят следующим образом. Сначала строится простой код длиной  $k$ , т.е. множество всех  $k$ -последовательностей двоичных символов, называемых информационными. Затем к каждой из этих последовательностей приписывается  $r = n - k$  проверочных символов, которые получаются в результате некоторых линейных операций над информационными символами.

Простейший систематический код  $(n, n-1)$  строится добавлением к комбинации из  $n-1$  информационных символов одного проверочного, равного сумме всех информационных символов по модулю 2. Такой код  $(n, n-1)$  имеет  $d=2$  и позволяет обнаружить одиночные ошибки и называется кодом с одной проверкой на четность.

Преимуществом линейных, в частности систематических, кодов является то, что в кодере и декодере не нужно хранить большие таблицы всех кодовых комбинаций, а при декодировании не нужно производить большое количество сравнений.

Однако, для получения высокой верности связи следует применять коды достаточно большой длины. Применение систематического кода в общем случае, хотя и позволяет упростить декодирование по сравнению с табличным способом, все же при значениях  $n$  порядка нескольких десятков не решает задачу практической реализации.

### 6.1.2.4. Совершенные и квазисовершенные коды

Совершенными (плотно упакованными) называют коды, в которых выполняются

$$\sum_{i=0}^{\Delta} C_n^i (b-1)^i = b^r - 1$$

соотношения  $\sum_{i=0}^{\Delta} C_n^i (b-1)^i = b^r - 1$ , где  $\Delta$  - максимальная кратность исправляемых ошибок;  $b$  - основание кода;  $r$  - число проверочных символов.

Они отличаются тем, что позволяют исправлять все ошибки кратностью  $\Delta$  или меньше и ни одной ошибки кратности больше  $\Delta$ .

Число известных совершенных кодов ограничено кодами Хэмминга значности  $n = \frac{b^r - 1}{b - 1}$  и бинарным циклическим кодом Голея.

Квазисовершенными принято называть коды, исправляющие все ошибки кратности  $\Delta$  и

$$A \leq (b - 1)^i C_n^i \text{ ошибок кратности } \Delta + 1 \text{ при условии, что } \sum_{i=0}^{\Delta} (b - 1)^i C_n^i + A = b^r + 1$$

Класс квазисовершенных кодов значительно шире, чем класс плотно упакованных кодов.

Совершенные и квазисовершенные коды обеспечивают максимум вероятности правильного приема комбинации при равновероятных ошибках в канале связи.

### 6.1.2.5. Циклические коды

Был предложен ряд кодов и способов декодирования, при которых сложность декодера растет не экспоненциально, а лишь как некоторая степень  $n$ . В классе линейных систематических двоичных кодов это - циклические коды. Циклические коды просты в реализации и при невысокой избыточности обладают хорошими свойствами обнаружения ошибок. Циклические коды получили очень широкое распространение как в технике связи, так и в компьютерных средствах хранения информации. В зарубежных источниках циклические коды обычно называют *избыточной циклической проверкой* (CRC, Cyclic Redundancy Check).

Рассмотрим данный класс кодов подробнее. Название циклических кодов связано с тем, что каждая кодовая комбинация, получаемая путем циклической перестановки символов, также принадлежит коду. Так, например, циклические перестановки комбинации 1000101 будут также кодовыми комбинациями 0001011, 0010110, 0101100 и т.д.

Представление кодовых комбинаций в виде многочленов  $F(x)$  позволяет установить однозначное соответствие между ними и свести действия над комбинациями к действию над многочленами. Сложение двоичных многочленов сводится к сложению по модулю 2 коэффициентов при равных степенях переменной  $x$ . Умножение производится по обычному правилу умножения степенных функций, однако полученные коэффициенты при данной степени складываются по модулю 2. Деление осуществляется, как обычное деление многочленов, при этом операция вычитания заменяется операцией сложения по модулю 2. Циклическая перестановка кодовой комбинации эквивалентна умножению полинома  $F(x)$  на  $x$  с заменой на единицу переменной со степенью, превышающую степень полинома.

Любой полином  $G(x)$  степени  $r < n$ , который делит без остатка двучлен  $x^n - 1$ , может быть *порождающим полиномом* циклического  $(n, k)$ -кода, где  $k = n - r$ . В этот код входят те полиномы, которые без остатка делятся на  $G(x)$ .

Особую роль в теории циклических кодов играют *неприводимые многочлены*  $G(x)$ , т.е. полиномы, которые не могут быть представлены в виде произведения многочленов низших степеней.

Идея построения циклического кода  $(n, k)$  сводится к тому, что полином  $Q(x)$ , представляющий информационную часть кодовой комбинации, нужно преобразовать в

полином  $F(x)$  степени не более  $n - 1$ , который без остатка делится на порождающий полином  $G(x)$  (неприводимый многочлен) степени  $r = n - k$ . Рассмотрим последовательность операций построения циклического кода.

- Представляем информационную часть кодовой комбинации длиной  $k$  в виде полинома  $Q(x)$ .
- Умножаем  $Q(x)$  на одночлен  $x^r$  и получаем  $Q(x)x^r$ .
- Делим полином  $Q(x)x^r$  на порождающий полином  $G(x)$  степени  $r$ , при этом получаем частное от деления  $C(x)$  такой же степени, что и  $Q(x)$ .

$$\frac{Q(x)x^r}{G(x)} = C(x) \oplus \frac{R(x)}{G(x)}, \text{ где } R(x) - \text{остаток от деления } Q(x)x^r \text{ на } G(x).$$

Умножив обе части на  $G(x)$ , получим  $F(x) = C(x)G(x) = Q(x)x^r \oplus R(x)$ .

Полином  $F(x)$  делится без остатка на  $G(x)$ , т.е. представляет собой разрешенную комбинацию циклического  $(n, k)$ -кода.

Таким образом, разрешенную кодовую комбинацию циклического кода можно получить двумя способами: умножением кодовой комбинации простого кода  $C(x)$  на полином  $G(x)$  или умножением кодовой комбинации  $Q(x)$  простого кода на одночлен  $x^r$  и добавлением к этому произведению остатка  $R(x)$ .

В первом случае информационные и проверочные разряды не отделены друг от друга (код получается *неразделимым*). Во втором случае получается *разделимый* код. Этот код достаточно широко используется на практике, поскольку процесс декодирования и обнаружения ошибок при использовании разделимого кода выполняется проще.

Рассмотрим пример разделяемого циклического кода  $(9, 5)$  с порождающим полиномом  $G(x) = x^4 + x + 1$  ( $r = 4$ ). В качестве информационной части кодовой комбинации возьмем полином  $Q(x) = x^4 + x^2 + x + 1$ .

Умножение  $Q(x)$  на  $x^r$  эквивалентно повышению степени многочлена на  $r$ .  $Q(x) = x^4 + x^2 + x + 1 \rightarrow 10111$ .

$$Q(x)x^r = (x^4 + x^2 + x + 1)x^4 = x^8 + x^6 + x^5 + x^4 \rightarrow 101110000$$

Формирование проверочной группы осуществляется в процессе деления  $Q(x)x^r$  на  $G(x)$ .

$$\begin{array}{cccccccccccc} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & & & & & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & & & & & & & & & \end{array}$$

0	0	0	0	0			
	1	0	0	0	0		
	1	0	0	1	1		
		0	0	1	1	0	
		0	0	0	0	0	
			0	1	1	0	0
			0	0	0	0	0
				1	1	0	0

В результате деления получаем частное от деления  $C(x) = x^4 + x^2 \rightarrow 10100$  и остаток от деления  $R(x) = x^3 + x^2 \rightarrow 1100$ . Для получения разрешенной кодовой комбинации остаток (проверочная группа) помещается на место "пустых" разрядов  $Q(x)x^r$ , т.е.  $F(x) = x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 \rightarrow 10111100$ . Данная комбинация отправляется в канал связи. Аналогичные операции выполняются для других информационных комбинаций.

Обнаружение ошибок при циклическом кодировании сводится к делению принятой кодовой комбинации на тот же образующий полином, который использовался для кодирования. Если ошибок в принятой комбинации нет (или они такие, что передаваемую комбинацию превращают в другую разрешенную), то деление на образующий полином производится без остатка. Наличие остатка свидетельствует о присутствии ошибок.

При использовании в циклических кодах декодирования с исправлением ошибок остаток от деления может играть роль *синдрома*. Нулевой синдром указывает на то, что принятая комбинация является разрешенной. Всякому ненулевому синдрому соответствует определенная конфигурация ошибок, которая и исправляется.

Однако, обычно в системах связи исправление ошибок при использовании циклических кодов не производится, а при обнаружении ошибок выдается запрос на повтор испорченной ошибками комбинации. Такие системы называются *системами с обратной связью* и будут рассмотрены ниже в подразделе 6.1.2.8.

### 6.1.2.6. Прочие классы кодов

Наряду с циклическими кодами на практике используются другие типы кодов, обладающие различными свойствами. Подробное рассмотрение классов кодов выходит за рамки настоящего курса, поэтому приведем только их краткую характеристику.

Среди циклических кодов особое значение имеет класс кодов, предложенных Боузом и Рой-Чоудхури и независимо от них Хоквингемом. Коды Боуза - Чоудхури - Хоквингема (обозначаемые сокращением БЧХ) отличаются сравнительно просто реализуемой процедурой декодирования.

Относительно простой является процедура мажоритарного декодирования, применимая для некоторого класса двоичных линейных, в том числе циклических кодов. Основана она

на том, что в этих кодах каждый информационный символ можно несколькими способами выразить через другие символы кодовой комбинации.

Мощные коды (т.е. коды с длинными блоками и большим кодовым расстоянием  $d$ ) при сравнительно простой процедуре декодирования можно строить, объединяя несколько коротких кодов. Так строится, например, итеративный код из двух линейных систематических кодов  $(n_1, k_1)$  и  $(n_2, k_2)$ . Минимальное кодовое расстояние для двумерного итеративного кода  $d = d_1 d_2$ , где  $d_1$  и  $d_2$  - соответственно минимальные кодовые расстояния для кодов 1-й и 2-й ступеней.

На итеративный код похож каскадный код, но между ними имеется существенное различие. Первая ступень кодирования в каскадном коде является линейным систематическим двоичным кодом (внутренний код), каждая комбинация которого рассматривается как один символ недвоичного кода второй ступени (внешнего). При приеме сначала декодируются (с обнаружением или исправлением ошибок) все строки (блоки) внутреннего кода, а затем декодируется блок внешнего  $m$ -ичного кода, причем исправляются ошибки и стирания, оставшиеся после декодирования внутреннего кода. В качестве внешнего кода используют обычно  $m$ -ичный код Рида-Соломона, который является подклассом кодов БЧХ и обеспечивает наибольшее возможное  $d$  при заданных  $n_2$  и  $k_2$ , если  $n_2 < m$ . Каскадные коды во многих случаях наиболее перспективны среди известных блочных помехоустойчивых кодов.

#### 6.1.2.7. Метод перемежения

Для каналов с группированием ошибок часто применяют метод перемежения символов, или декорреляции ошибок. Он заключается в том, что символы, входящие в одну кодовую комбинацию, передаются не непосредственно друг за другом, а перемежаются символами других кодовых комбинаций.

Если интервал между символами, входящими в одну комбинацию, сделать больше максимально возможной длины группы ошибок, то в пределах комбинации группирования ошибок не будет. Группа ошибок распределится в виде одиночных ошибок на группу комбинаций. Одиночные ошибки будут легко обнаружены (исправлены) декодером.

#### 6.1.2.8. Системы с обратной связью

Нередко встречаются случаи, когда информация может передаваться не только от одного абонента к другому, но и в обратном направлении. В таких условиях появляется возможность использовать обратный поток информации для существенного повышения верности сообщений, переданных в прямом направлении. При этом не исключено, что по обоим каналам (прямому и обратному) в основном непосредственно передаются сообщения в двух направлениях ("дуплексная связь") и только часть пропускной способности каждого из каналов используют для передачи дополнительных данных, предназначенных для повышения верности.

Возможны различные способы использования системы с обратной связью в дискретном канале. Обычно их подразделяют на два типа: системы с информационной обратной связью и системы с управляющей обратной связью.

Системами с информационной обратной связью (ИОС) называются такие, в которых с приемного устройства на передающее поступает информация о том, в каком виде принято

сообщение. На основании этой информации передающее устройство может вносить те или иные изменения в процесс передачи сообщения:

- повторить ошибочно принятые отрезки сообщения;
- изменить применяемый код (передав предварительно соответствующий условный сигнал и убедившись в том, что он принят);
- прекратить передачу при плохом состоянии канала до его улучшения.

В системах с управляющей обратной связью (УОС) приемное устройство на основании анализа принятого сигнала само принимает решение о необходимости повторения, изменения способа передачи, временного перерыва связи и передает об этом указание передающему устройству. Возможны и смешанные методы использования обратной связи, когда в некоторых случаях решение принимается на приемном устройстве, а в других случаях на передающем устройстве на основании полученной по обратному каналу информации.

Наиболее распространены системы с УОС при использовании одновременно с обнаружением ошибок. Такие системы часто называют системами с *переспросом*, или с *автоматическим запросом ошибок* (ARQ, Automatic Repeat reQuest).

### **6.1.3. Основы теории многоканальной передачи сообщений**

Используемые методы разделения каналов (РК) можно классифицировать на линейные и нелинейные (комбинационные).

В большинстве случаев разделения каналов каждому источнику сообщения выделяется специальный сигнал, называемый канальным. Промодулированные сообщениями канальные сигналы объединяются, в результате чего образуется групповой сигнал. Если операция объединения линейна, то получившийся сигнал называют линейным групповым сигналом.

Для унификации многоканальных систем связи за основной или стандартный канал принимают канал тональной частоты (канал ТЧ), обеспечивающий передачу сообщений с эффективно передаваемой полосой частот 300...3400 Гц, соответствующей основному спектру телефонного сигнала.

Многоканальные системы образуются путем объединения каналов ТЧ в группы, обычно кратные 12 каналам. В свою очередь, часто используют "вторичное уплотнение" каналов ТЧ телеграфными каналами и каналами передачи данных.

На Рис. 6.11 приведена структурная схема наиболее распространенных систем многоканальной связи.

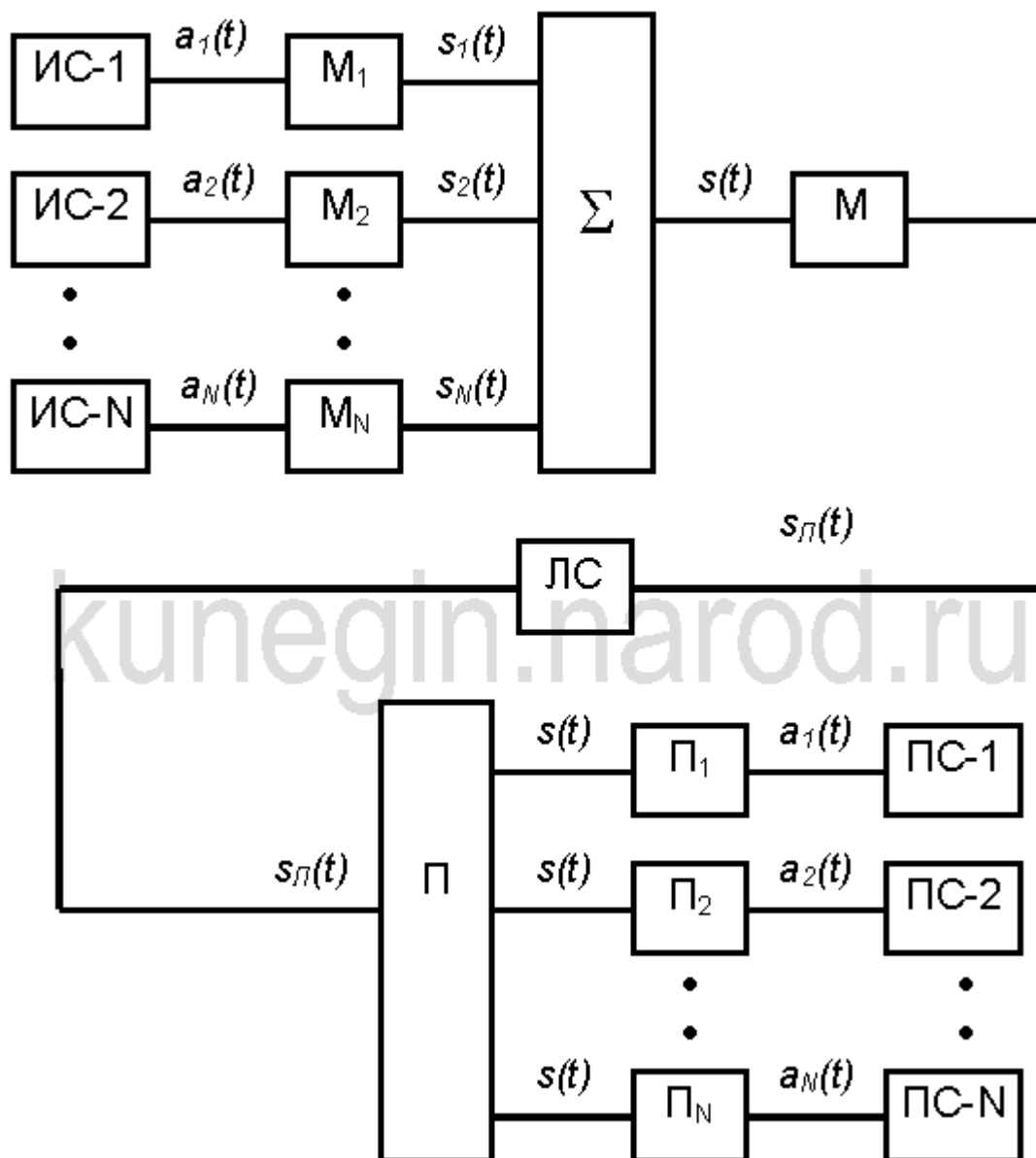


Рис. 6.11. Структурная схема систем многоканальной связи

Реализация сообщений каждого источника  $a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)$  с помощью индивидуальных передатчиков (модуляторов)  $M_1, M_2, \dots, M_N$  преобразуются в соответствующие каналные сигналы  $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$ . Совокупность каналных сигналов на выходе суммирующего устройства  $\Sigma$  образует групповой сигнал  $s(t)$ . Наконец, в групповом передатчике  $M$  сигнал  $s(t)$  преобразуется в линейный сигнал  $s_{\text{л}}(t)$ , который и поступает в линию связи ЛС. Допустим, что линия пропускает сигнал практически без искажений и не вносит шумов. Тогда на приемном конце линии связи линейный сигнал  $s_{\text{л}}(t)$  с помощью группового приемника  $\Pi$  может быть вновь преобразован в групповой сигнал  $s(t)$ . Канальными или индивидуальными приемниками  $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$  из группового сигнала  $s(t)$  выделяются соответствующие каналные сигналы  $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$  и затем преобразуются в предназначенные получателям сообщения  $a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)$ .

Канальные передатчики вместе с суммирующим устройством образуют аппаратуру объединения. Групповой передатчик  $M$ , линия связи ЛС и групповой приемник  $\Pi$  составляют групповой канал связи (тракт передачи), который вместе с аппаратурой объединения и индивидуальными приемниками составляет систему многоканальной связи.



Индивидуальные приемники системы многоканальной связи  $\Pi_K$  наряду с выполнением обычной операции преобразования сигналов  $s_k(t)$  в соответствующие сообщения  $a_k(t)$  должны обеспечить выделение сигналов  $s_k(t)$  из группового сигнала  $s(t)$ . Иначе говоря, в составе технических устройств на передающей стороне многоканальной системы должна быть предусмотрена аппаратура объединения, а на приемной стороне - аппаратура разделения.

В общем случае групповой сигнал может формироваться не только простейшим суммированием канальных сигналов, но также и определенной логической обработкой, в результате которой каждый элемент группового сигнала несет информацию о сообщениях источников. Это так называемые системы с комбинационным разделением.

Чтобы разделяющие устройства были в состоянии различать сигналы отдельных каналов, должны существовать определенные признаки, присущие только данному сигналу. Такими признаками в общем случае могут быть параметры переносчика, например амплитуда, частота или фаза в случае непрерывной модуляции гармонического переносчика. При дискретных видах модуляции различающим признаком может служить и форма сигналов. Соответственно различаются и способы разделения сигналов: частотный, временной, фазовый и др.

### **6.1.3.1 Частотное разделение сигналов**

Функциональная схема простейшей системы многоканальной связи с разделением каналов по частоте представлена на Рис. 6.12.

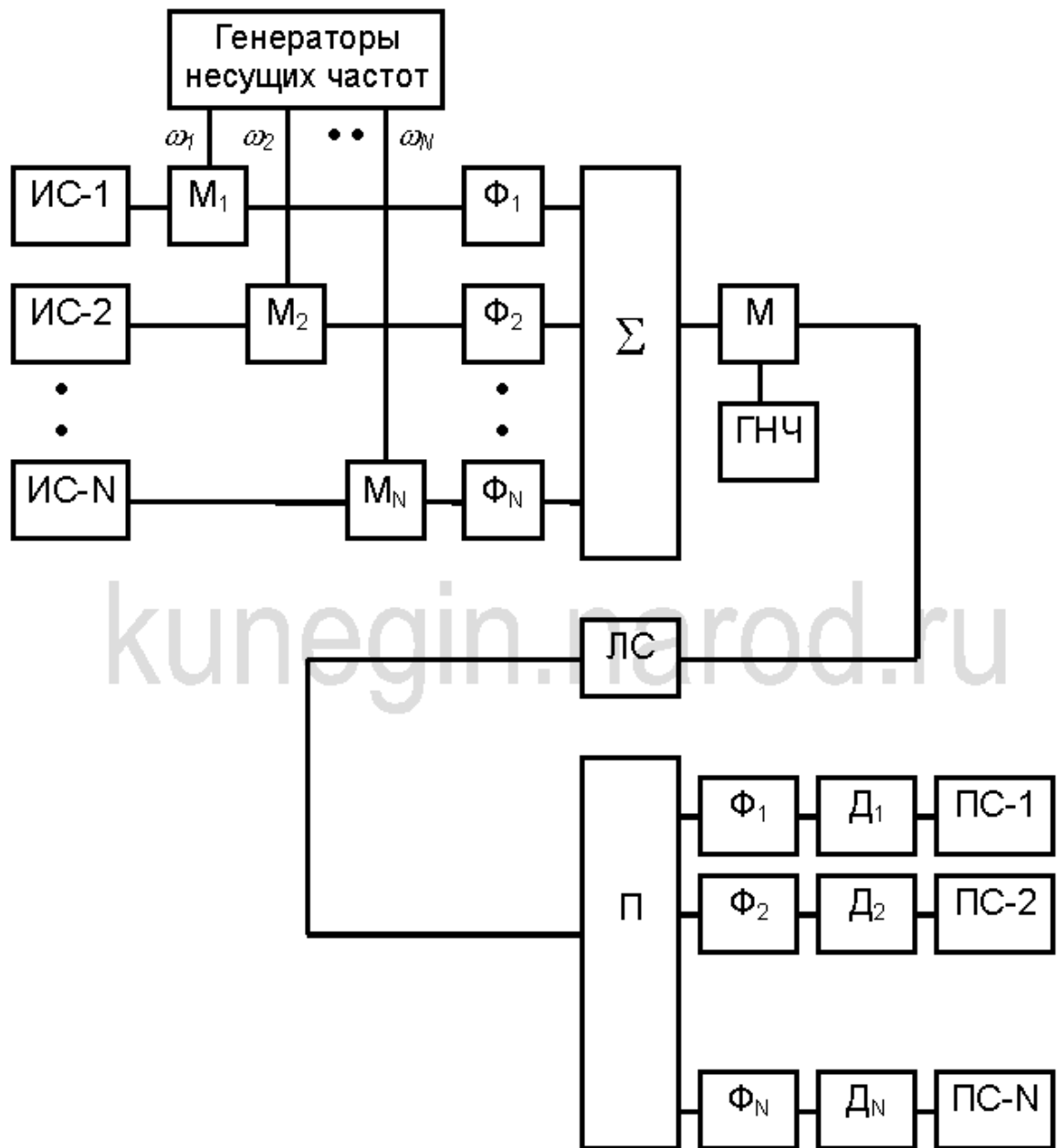


Рис. 6.12. Функциональная схема системы многоканальной связи с частотным разделением каналов

В зарубежных источниках для обозначения принципа частотного разделения каналов (ЧРК) используется термин Frequency Division Multiply Access (FDMA).

Сначала в соответствии с передаваемыми сообщениями первичные (индивидуальные) сигналы, имеющие энергетические спектры  $G_1(\omega)$ ,  $G_2(\omega)$ , ...,  $G_N(\omega)$  модулируют поднесущие частоты  $\omega_k$  каждого канала. Эту операцию выполняют модуляторы  $M_1, M_2, \dots, M_N$  канальных передатчиков. Полученные на выходе частотных фильтров  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$  спектры  $g_k(\omega)$  канальных сигналов занимают соответственно полосы частот  $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2, \dots, \Delta\omega_N$ , которые в общем случае могут отличаться по ширине от спектров сообщений  $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N$ . При широкополосных видах модуляции, например, ЧМ ширина спектра  $\Delta\omega \approx 2(\beta + 1)\Omega_k$ , т.е. в общем случае  $\Delta\omega \geq \Omega_k$ . Для упрощения будем считать, что используется АМ-ОБП (как это принято в аналоговых СП с ЧРК), т.е.  $\Delta\omega_k = \Omega$  и  $\Delta\omega = N\Omega$ .

Проследим основные этапы образования сигналов, а также изменение этих сигналов в процессе передачи (Рис. 6.13).

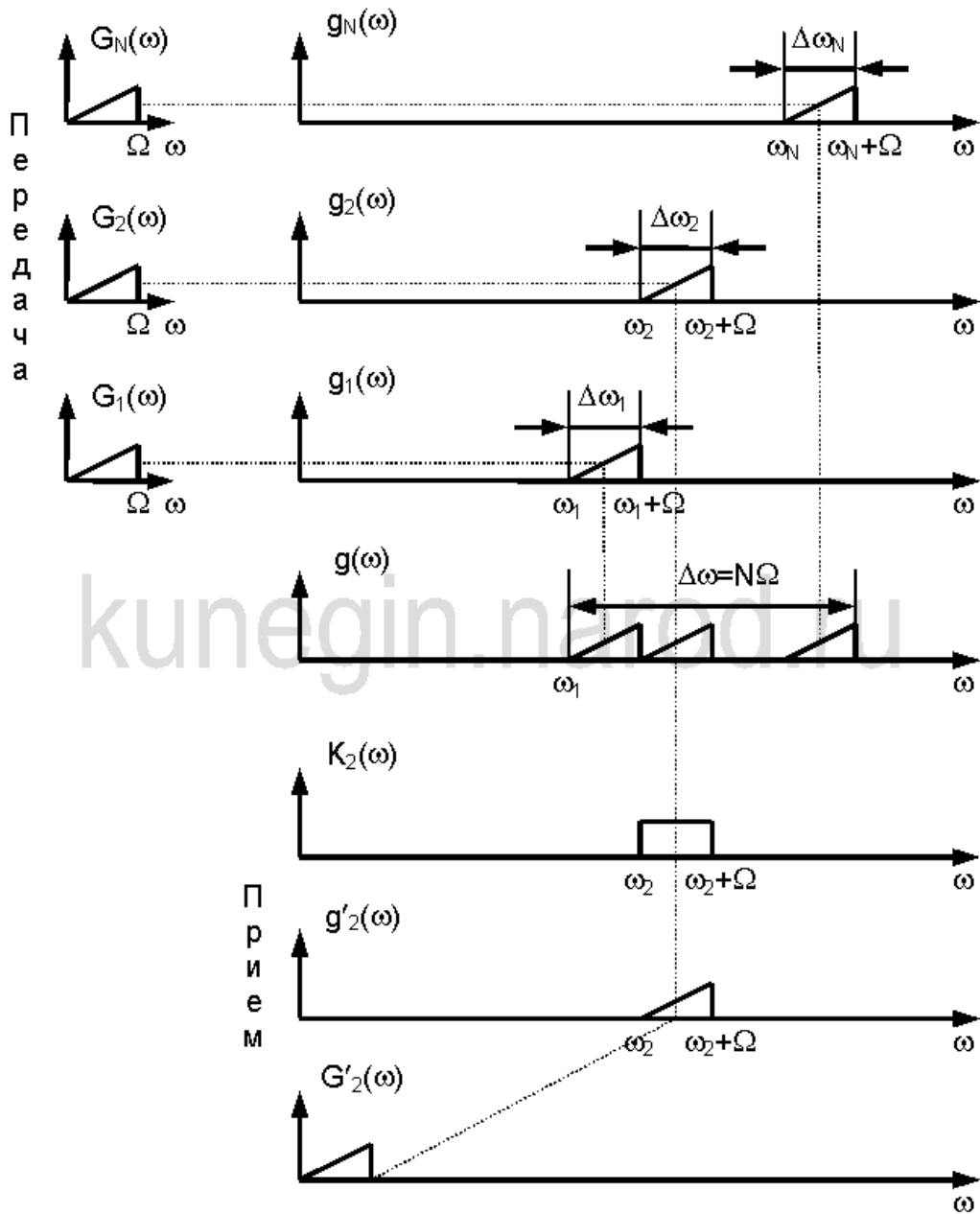


Рис. 6.13. Преобразование спектров в системе с частотным разделением каналов

Будем полагать, что спектры индивидуальных сигналов конечны. Тогда можно подобрать поднесущие частоты  $\omega_k$  так, что полосы  $\Delta\omega_1, \dots, \Delta\omega_k$  попарно не перекрываются. При этом условии сигналы  $s_k(t)$  ( $k=1, \dots, N$ ) взаимноортогональны.

Затем спектры  $g_1(\omega), g_2(\omega), \dots, g_N(\omega)$  суммируются ( $\Sigma$ ) и их совокупность  $g(\omega)$  поступает на групповой модулятор ( $M$ ). Здесь спектр  $g(\omega)$  с помощью колебания несущей частоты  $\omega_0$  переносится в область частот, отведенную для передачи данной группы каналов, т.е. групповой сигнал  $s(t)$  преобразуется в линейный сигнал  $s_L(t)$ . При этом может использоваться любой вид модуляции.

На приемном конце линейный сигнал поступает на групповой демодулятор (приемник П), который преобразует спектр линейного сигнала в спектр группового сигнала  $g'(\omega)$ . Спектр группового сигнала затем с помощью частотных фильтров  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$  вновь разделяется на отдельные полосы  $\Delta\omega_k$ , соответствующие отдельным каналам. Наконец, каналные демодуляторы Д преобразуют спектры сигналов  $g_k(\omega)$  в спектры сообщений  $G'_k(\omega)$ , предназначенные получателям.

Из приведенных пояснений легко понять смысл частотного способа разделения каналов. Поскольку всякая реальная линия связи обладает ограниченной полосой пропускания, то при многоканальной передаче каждому отдельному каналу отводится определенная часть общей полосы пропускания.

На приемной стороне одновременно действуют сигналы всех каналов, различающиеся положением их частотных спектров на шкале частот. Чтобы без взаимных помех разделить такие сигналы, приемные устройства должны содержать частотные фильтры. Каждый из фильтров  $\Phi_k$  должен пропустить без ослабления лишь те частоты  $\omega \in \Delta\omega_k$ , которые принадлежат сигналу данного канала; частоты сигналов всех других каналов  $\omega \notin \Delta\omega_k$  фильтр должен подавить.

На практике это невыполнимо. Результатом являются взаимные помехи между каналами. Они возникают как за счет неполного сосредоточения энергии сигнала  $k$ -го канала в пределах заданной полосы частот  $\Delta\omega_k$ , так и за счет неидеальности реальных полосовых фильтров. В реальных условиях приходится учитывать также взаимные помехи нелинейного происхождения, например за счет нелинейности характеристик группового канала.

Для снижения переходных помех до допустимого уровня приходится вводить защитные частотные интервалы  $\Delta\omega_{\text{защ}}$  (Рис. 6.14).

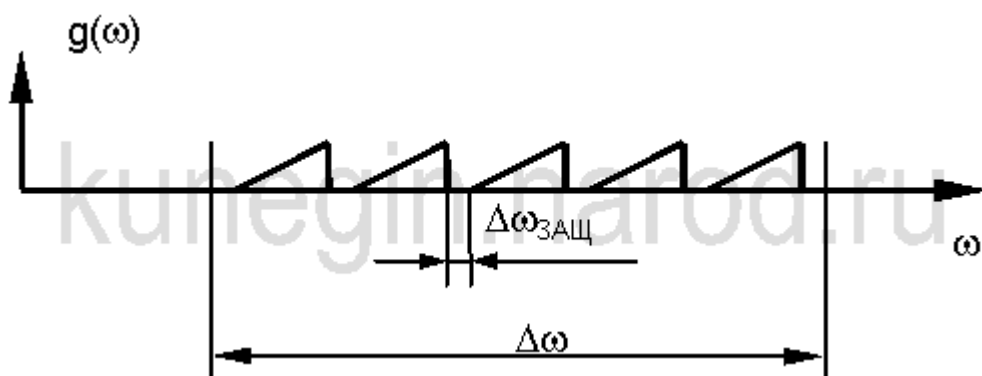


Рис. 6.14. Спектр группового сигнала с защитными интервалами

Так, например, в современных системах многоканальной телефонной связи каждому телефонному каналу выделяется полоса частот 4 кГц, хотя частотный спектр передаваемых звуковых сигналов ограничивается полосой от 300 до 3400 Гц, т.е. ширина спектра составляет 3,1 кГц. Между полосами частот соседних каналов предусмотрены интервалы шириной по 0,9 кГц, предназначенные для снижения уровня взаимных помех при расфилтровке сигналов. Это означает, что в многоканальных системах связи с частотным разделением сигналов эффективно используется лишь около 80% полосы пропускания линии связи. Кроме того, необходимо обеспечить высокую степень линейности всего тракта группового сигнала.

### 6.1.3.2. Временное разделение каналов

Принцип временного разделения каналов (ВРК) состоит в том, что групповой тракт предоставляется поочередно для передачи сигналов каждого канала многоканальной системы (Рис. 6.15).

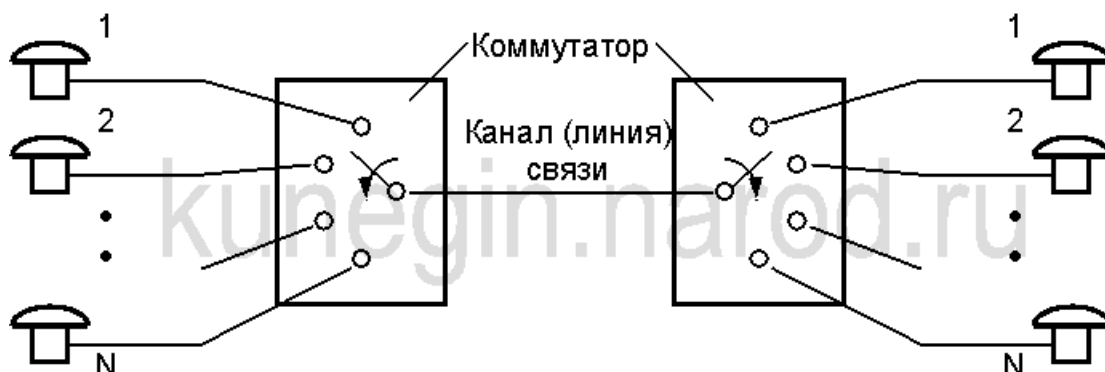


Рис. 6.15. Принцип временного разделения каналов

В зарубежных источниках для обозначения принципа временного разделения каналов используется термин Time Division Multiply Access (TDMA).

При передаче используется дискретизация во времени (импульсная модуляция). Сначала передается импульс 1-го канала, затем следующего канала и т.д. до последнего канала за номером N, после чего опять передается импульс 1-го канала и процесс повторяется периодически. На приеме устанавливается аналогичный коммутатор, который поочередно подключает групповой тракт к соответствующим приемникам. В определенный короткий промежуток времени к групповой линии связи оказывается подключена только одна пара приемник/передатчик.

Это означает, что для нормальной работы многоканальной системы с ВРК необходима синхронная и синфазная работа коммутаторов на приемной и передающей сторонах. Для этого один из каналов занимают под передачу специальных импульсов синхронизации.

На Рис. 6.16 приведены временные диаграммы, поясняющие принцип ВРК. На Рис. 6.16, а-в приведены графики трех непрерывных аналоговых сигналов  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  и  $u_3(t)$  и соответствующие им АИМ-сигналы. Импульсы разных АИМ-сигналов сдвинуты друг относительно друга по времени. При объединении индивидуальных каналов в канале (линии) связи образуется групповой сигнал с частотой следования импульсов в N раз большей частоты следования индивидуальных импульсов.

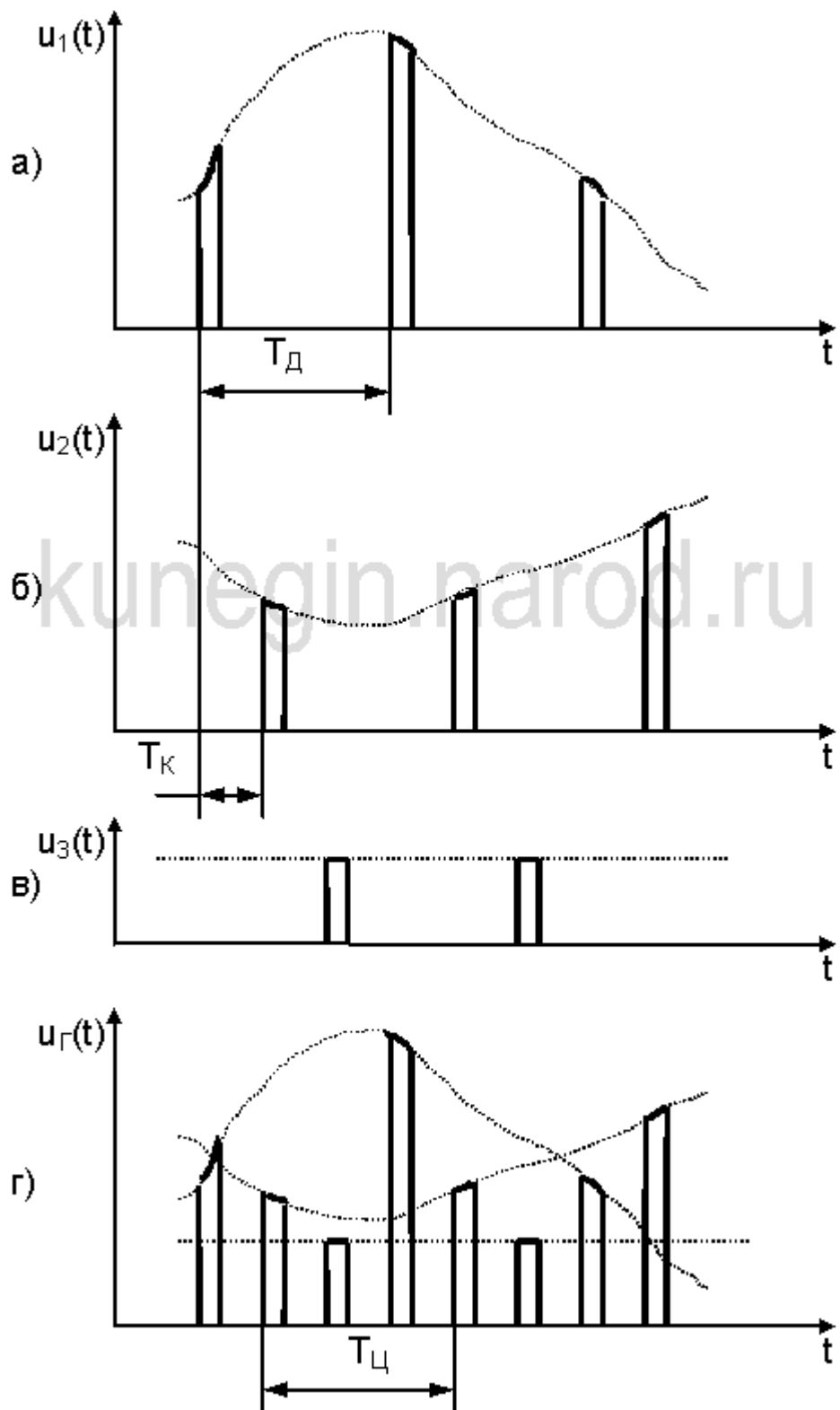


Рис. 6.16. Преобразование сигналов при ВРК

Интервал времени между ближайшими импульсами группового сигнала  $T_k$  называется канальным интервалом или тайм-слотом (Time Slot). Промежуток времени между соседними импульсами одного индивидуального сигнала называется циклом передачи  $T_c$ . От соотношения  $T_c$  и  $T_k$  зависит число импульсов, которое можно разместить в цикле, т.е. число временных каналов.

При временном разделении так же как и при ЧРК существуют взаимные помехи, в основном обусловленные двумя причинами.

Первая состоит в том, что линейные искажения, возникающие за счет ограниченности полосы частот и неидеальности амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик всякой физически осуществимой системы связи, нарушают импульсный характер сигналов. При временном разделении сигналов это приведет к тому, что импульсы одного канала будут накладываться на импульсы других каналов. Иначе говоря, между каналами возникают взаимные переходные помехи или межсимвольная интерференция.

Кроме того, взаимные помехи могут возникать за счет несовершенства синхронизации тактовых импульсов на передающей и приемной сторонах.

В силу данных причин временное разделение каналов на основе АИМ не получило практического применения. Временное разделение широко используют в цифровых системах передачи плезиохронной и синхронной иерархий, которые будут подробно рассмотрены ниже.

В общем случае для снижения уровня взаимных помех приходится вводить "защитные" временные интервалы, что соответствует некоторому расширению спектра сигналов. Так, в СП полоса эффективно передаваемых частот  $F=3100$  Гц; в соответствии с теоремой Котельникова (см. подраздел 8.2) минимальное значение частоты дискретизации  $f_0=1/T_d=2F=6200$  Гц. Однако в реальных системах частоту дискретизации выбирают с некоторым запасом:  $f_0=8$  кГц. При временном разделении каналов сигнал каждого канала занимает одинаковую полосу частот, определяемую в идеальных условиях согласно теореме Котельникова из соотношения (без учета канала синхронизации)  $\Delta t_k = T_0/N = 1/(2NF) = 1/(2F_{\text{Общ}})$ , где  $F_{\text{Общ}} = FN$ , что совпадает с общей полосой частот системы при частотном разделении. Хотя теоретически временное и частотное разделения позволяют получить одинаковую эффективность использования частотного спектра, тем не менее пока что системы временного разделения уступают системам частотного разделения по этому показателю.

Вместе с тем, системы с временным разделением имеют неоспоримое преимущество, связанное с тем, что благодаря разновременности передачи сигналов разных каналов отсутствуют переходные помехи нелинейного происхождения.

Кроме того, аппаратура временного разделения значительно проще, чем при частотном разделении, где для каждого индивидуального канала требуются соответствующие полосовые фильтры, которые достаточно трудно реализовать средствами микроэлектроники.

### **6.1.3.3. Разделение сигналов по форме**

Для разделения сигналов могут использоваться не только такие очевидные признаки, как частота, время и фаза. Наиболее общим признаком является форма сигналов. Различающиеся по форме сигналы могут передаваться одновременно и иметь перекрывающиеся частотные спектры, и тем не менее такие сигналы можно разделить, если выполняется условие их ортогональности. Пусть в качестве переносчиков выбраны импульсы, последовательность которых образует, например, степенной ряд.

В предположении, что информация содержится в коэффициентах  $c_1, c_2, \dots$ , для группового сигнала запишем  $s(t) = c_1 1 + c_2 t + \dots + c_N t^{N-1}$ .

Члены ряда линейно независимы, и, следовательно, ни один из канальных сигналов  $s_{kt}^{K-1}$  не может быть образован линейной суммой всех других сигналов. Это легко понять, обратив внимание на то, что многочлен от  $t$  может быть тождественно равен нулю только в том случае, когда все его коэффициенты равны нулю.

В последние годы успешно развиваются цифровые методы разделения сигналов по их форме, в частности, в качестве переносчиков различных каналов используются дискретные ортогональные последовательности в виде функций Уолша, Радемахера и другие. Широкое развитие методов разделения по форме сигналов привело к созданию систем связи с разделением "почти ортогональных" сигналов, представляющих собой псевдослучайные последовательности, корреляционные функции и энергетические спектры которых близки к аналогичным характеристикам "ограниченного" белого шума. Такие сигналы называют шумоподобными (ШПС). Основной характеристикой ШПС является база сигнала  $V$ , определяемая как произведение ширины его спектра  $F$  на его длительность  $T$ .

База ШПС характеризует расширение его спектра по сравнению со спектром исходного сигнала. Расширение спектра частот может осуществляться умножением исходного сигнала (например, двухчастотной ЧМ) на псевдослучайную последовательность (ПСП) с периодом повторения  $T$  (равным длительности интервала модуляции исходного ЧМ-сигнала), включающую  $N$  бит ПСП длительностью  $\tau_0$  каждый. В этом случае база ШПС численно равна количеству элементов ПСП  $V=T/\tau_0=N$ .

Поскольку параметры сигнала ШПС (значения бит ПСП - два набора значений в случае двухчастотной ЧМ) известны, то прием ШПС может производиться приемниками, рассчитанными на прием сигналов с известными параметрами. В результате отношение сигнал/шум на выходе приемника улучшается в  $V$  раз по отношению ко входу.

В зарубежных источниках для обозначения данного принципа применяется понятие кодового разделения каналов Code Division Multiply Access (CDMA).

#### 6.1.4. Обеспечение дальности связи

Многоканальные системы передачи с частотным и временным разделением каналов - это сложный комплекс технических средств, включающий в себя оконечную аппаратуру, устанавливаемую на *оконечных* пунктах (ОП), промежуточную аппаратуру, размещаемую в *обслуживаемых* (ОУП) или *необслуживаемых* (НУП) *усилительных пунктах*, а также линий связи (Рис. 6.17).

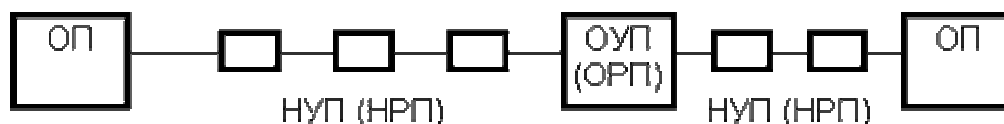


Рис. 6.17. Структурная схема построения систем передачи

В отличие от аналоговых систем во временных (цифровых) системах на обслуживаемых и необслуживаемых пунктах устанавливается аппаратура для восстановления (*регенерации*) импульсных сигналов линейного тракта. Отсюда обслуживаемые и необслуживаемые пункты в этих системах принято называть *регенерационными* (ОРП, НРП).



Поясним для чего нужны усилительные и регенерационные пункты. Дальность передачи сигналов по физическим цепям (средам) определяется прежде всего *затуханием* (ослаблением) сигнала из-за того, что в цепи теряется часть энергии передаваемого сигнала. Конкретные электрические параметры цепи и чувствительность приемного устройства определяют допустимую дальность связи. Например, при передаче речи мощность сигнала на выходе микрофона телефонного аппарата  $P_{\text{пер}} = 1$  мВт, а чувствительность телефона приемного аппарата  $P_{\text{пр}} = 0,001$  мВт. Таким образом, максимально допустимое затухание цепи не должно быть больше  $a_{\text{max}} = 10 \lg(P_{\text{пер}}/P_{\text{пр}}) = 10 \lg(1/0,001) = 30$  дБ. Зная затухание  $a_{\text{max}}$  и километрический коэффициент затухания  $\alpha$ , можно определить дальности передачи  $l = a_{\text{max}}/\alpha$ .

В системах передачи применяется способ компенсации затухания сигналов повышением мощности сигнала в нескольких равномерно расположенных точках тракта. Часть канала связи между соседними промежуточными усилителями называется *усилительным участком*. Изменение уровней сигнала вдоль магистрали описывается *диаграммой уровней*, приведенной на Рис. 6.18.

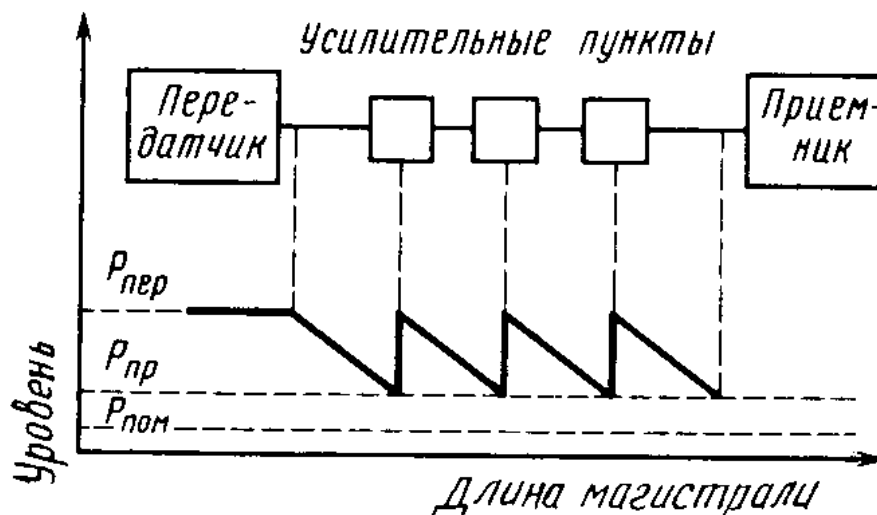


Рис. 6.18. Диаграмма уровней.  $P_{\text{пер}}$ ,  $P_{\text{пр}}$  - уровни сигнала на передаче и приеме,  $P_{\text{пом}}$  - уровень помехи

Аппаратура ОУП и НУП служит не только для усиления аналогового сигнала, но и для коррекции (выравнивания) амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик линейного тракта. Аппаратура НРП и ОРП предназначена для восстановления амплитуды, длительности и временного интервала между импульсами сигнала цифровых систем.

Расстояние между НУП (НРП) меняется в широких пределах для различных систем передачи и может составлять от единиц до десятков (иногда сотни) километров. Как правило НУП (НРП) представляет собой металлическую камеру, имеющую подземную и наземную части. В камере размещаются вводно-коммутационное и усилительное (регенерационное) оборудование. Аппаратура ОП и ОУП (ОРП) размещается в зданиях, где постоянно находится технический персонал для ее обслуживания.

## 6.2. Аналоговые системы передачи

### 6.2.1. Двусторонняя передача сигналов

К большинству систем связи предъявляется требование обеспечения одновременной и независимой передачи сигналов в двух направлениях - требование *двусторонней связи*. Для организации двусторонней связи используются два канала однонаправленного действия, образующих *двунаправленный четырехпроводный канал* (Рис. 6.19). Проходящие через однонаправленный канал сигналы усиливаются ( $S_{A-B}$  и  $S_{B-A}$ ).

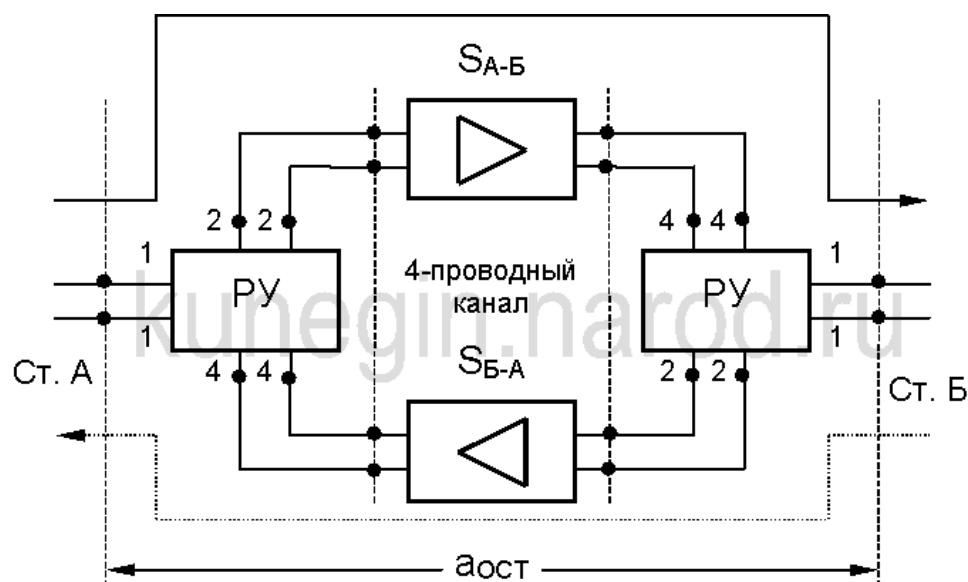


Рис. 6.19. Канал двустороннего действия

*Двунаправленный двухпроводный канал* образуется из четырехпроводного при помощи *развязывающих устройств (РУ)*. Зажимы 1-1 РУ называются линейными. Прохождение сигналов от линейных зажимов РУ станции А к линейным зажимам РУ станции Б, а также в противоположном направлении показаны на Рис. 6.19 с помощью сплошной и штриховой линий.

Затухание сигналов между линейными зажимами станций А и Б называется остаточным затуханием двухпроводного канала  $a_{ост} = a_{1-2} - S_{A-B(B-A)} + a_{4-1}$ . Желательно, чтобы  $a_{1-2}$  и  $a_{4-1}$  были минимальны.

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

Затухание, которое претерпевает сигнал, проходя от зажимов 4-4 к зажимам 2-2 РУ, называется переходным  $a_{пер}$ .

Затухание по петле ОС, равное сумме всех затуханий и усиления,  $a_{ос} = a_{пер1} + a_{пер2} - S_{A-B} - S_{B-A}$  носит специальное название - запас устойчивости. Если  $a_{ос} \leq 0$ , то канал неустойчив и самовозбуждается.

В качестве РУ в современных системах передачи широко используется дифференциальная система (ДС), выполненная на основе симметричного трансформатора со средней точкой (Рис. 6.20) (полуобмотки II и III идентичны). В состав ДС входит сопротивление  $Z_3$ ,

называемое балансным. Оно приближенно отражает свойства входного сопротивления абонентской линии.

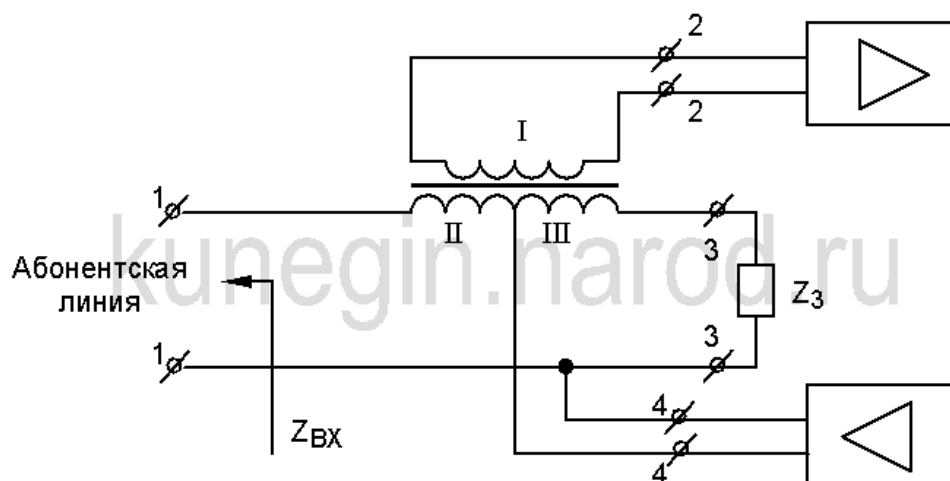


Рис. 6.20. Схема трансформаторной ДС

К ДС предъявляются требования минимального затухания в рабочих направлениях и максимального переходного затухания. Данные требования выполняются при соблюдении так называемого условия баланса ДС. Условием баланса ДС в направлении 4-4 → 2-2 является равенство входного сопротивления абонентской линии и балансного сопротивления  $Z_{вх} = Z_3$ . Условием баланса ДС в направлении 1-1 → 3-3 является равенство входного сопротивления первой полуобмотки дифференциального трансформатора и входного сопротивления направления приема четырехпроводного канала  $Z_{вх.тр.} = Z_4$ .

В случае сбалансированной ДС мощность входных сигналов, подводимых к зажимам 1-1 и зажимам 4-4, передается на соответствующие выходные зажимы 2-2 и 1-1 не полностью, а лишь частично, и входные сигналы испытывают так называемые *рабочие* затухания ДС  $a_{4-1} = a_{1-2} = 10 \lg 2 = 3 \text{ дБ}$ . В реальных ДС за счет неидеальности трансформатора рабочие затухания несколько больше.

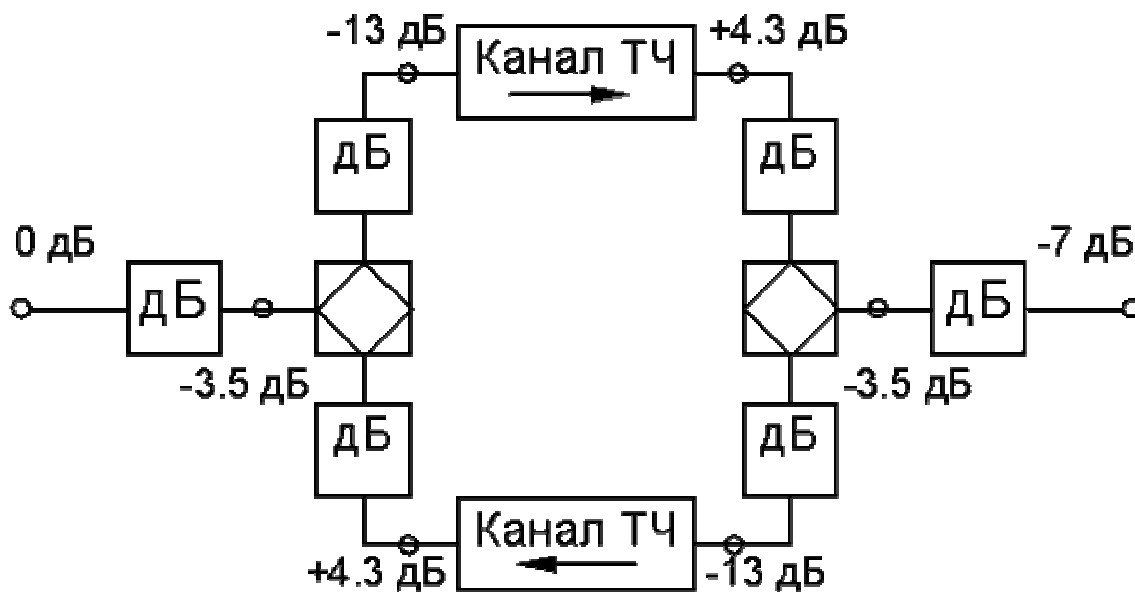
Переходное затухание реальной ДС также является конечной величиной. Оно зависит, в основном, от точности равенства входного сопротивления абонентской линии и балансного сопротивления. Точно выполнить это равенство на практике не представляется возможным, поскольку к одной и той же ДС могут подключаться абонентские линии с существенно различающимися характеристиками. В то же время характеристики балансного сопротивления являются постоянной величиной. Балансное сопротивление (балансный контур) обычно выполняется в виде последовательно включенных резистора сопротивлением 600 Ом и конденсатора емкостью 1 мкФ. Поэтому величина переходного затухания реальных ДС обычно не превышает 20..40 дБ.

### 6.2.2. Каналы связи

Стандартный канал ТЧ. Канал тональной частоты (ТЧ) является единицей измерения емкости систем передачи и используется для передачи телефонных сигналов, а также сигналов данных, факсимильной и телеграфной связи. Такой канал включает в себя двухпроводное окончание и четырехпроводный тракт. *Дифсистема* (ДС) служит для перехода с четырехпроводного тракта к двухпроводному окончанию. Удлинитель в двухпроводном окончании имеет затухание 3,5 дБ и называется *транзитными*.

Характеристики канала ТЧ нормируются рекомендациями МСЭ-Т серии М. В нашей стране требования МСЭ-Т уточняют "Нормы на электрические параметры каналов ТЧ магистральной и внутризоновых первичных сетей", введенные в действие приказом Министерства связи № 43 от 15.04.96. Рассмотрим основные характеристики канала ТЧ.

Нормированные (номинальные) измерительные уровни в стандартных точках канала ТЧ составляют (Рис. 6.21): на входе канала 0 дБм, на выходе транзитного удлинителя минус 3,5 дБм, на входе четырехпроводного тракта минус 13 дБм, на выходе четырехпроводного тракта 4,3 дБм, на входе транзитного удлинителя минус 3,5 дБм и на выходе канала минус 7 дБм.



дБ - удлинитель

Рис. 6.21. Номинальные измерительные уровни канала

Входное  $Z_{ВХ}$  и выходное  $Z_{ВЫХ}$  сопротивления канала ТЧ равны 600 Ом. Отклонение входного и выходного сопротивлений от номинального  $Z_{Н}$  оценивается коэффициентом

отражения  $\rho_{ОТР} = \left| \frac{Z_{Н} - Z_{Р}}{Z_{Н} + Z_{Р}} \right|$  или затуханием несогласованности (отражения)

$a_{ОТР} = 10 \lg \left| \frac{Z_{Н} - Z_{Р}}{Z_{Н} + Z_{Р}} \right|$ , где  $Z_{Р}$  - реальное значение сопротивления. Значение  $\rho_{ОТР}$  не должно превышать 10%.

Остаточное затухание канала. Это есть величина, равная разности суммы затуханий и суммы усиления в канале:  $a_{ОСТ} = \sum a + \sum S$ . Остаточное затухание канала ТЧ составляет 7 дБ. Максимальное отклонение во времени на одном транзитном участке не должно превышать 2,2 дБ с вероятностью 0,95.

Эффективно передаваемая полоса частот канала ТЧ - полоса, на крайних частотах которой (0,3 и 3,4 кГц) остаточное затухание на 8,7 дБ превышает остаточное затухание на частоте 800 Гц. Частотная характеристика отклонения канала ТЧ от номинала 7 дБ должна

оставаться в пределах шаблона (Рис. 6.22) при максимальном числе транзитов, т.е. при 12 переприемных участках.

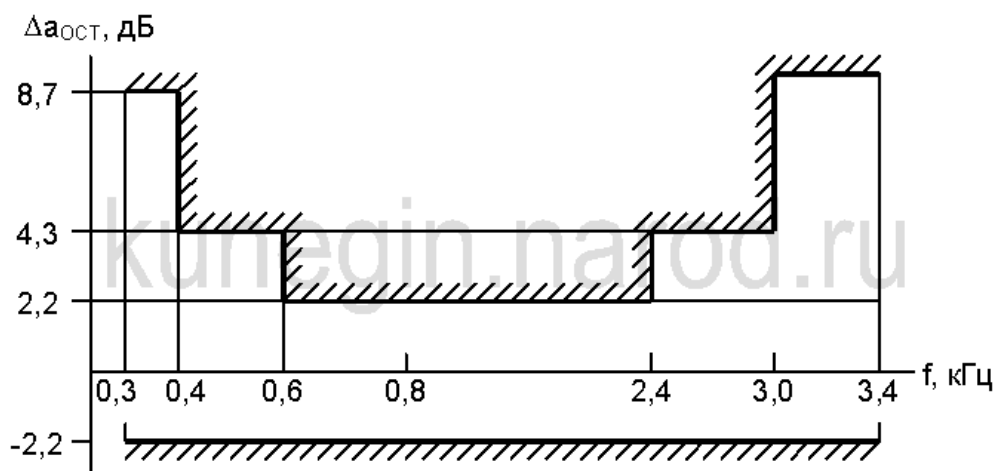


Рис. 6.22. Шаблон отклонения остаточного затухания аналогового канала ТЧ

Фазочастотные искажения не являются столь существенным при передаче речи. Но так как каналы ТЧ используются также для передачи данных и факсимильной связи, большие фазочастотные искажения недопустимы. Поэтому нормируется отклонение *группового времени передачи* (ГВП) от его значения на частоте 1900 Гц на одном транзитном участке длиной 2500 км (Рис. 6.23).



Рис. 6.23. Допустимые отклонения ГВП канала ТЧ

Коэффициент нелинейных искажений канала ТЧ на одном транзитном участке не должен превышать 1,5% (1% по третьей гармонике) при номинальном уровне передачи тока частотой 800 Гц. Амплитудная характеристика при этом нормируется следующим образом: остаточное затухание канала на одном транзитном участке должно оставаться постоянным с точностью 0,3 дБ при изменении уровня измерительного сигнала от минус 17,5 дБ до плюс 3,5 дБ в точке с нулевым измерительным уровнем на любой частоте пределах 0,3... 3,4 кГц. При повышении уровня измерительного сигнала до 8,7 и 20 дБ остаточное затухание должно уменьшиться не менее чем на 1,75 и 7,8 дБ соответственно.

Помехи в каналах ТЧ. На выходе канала ТЧ кроме информационного сигнала присутствуют помехи, которые определяются на приемном конце в точке с

относительным уровнем минус 7 дБ. Средняя величина псофометрического (взвешенного) напряжения помех в канале в течение любого часа на одном переприемном участке длиной 2500 км не должна превышать 1,1 мВ псоф (10000 пВт псоф в точке относительного нулевого уровня).

Стандартные каналы ТЧ, организованные с помощью *цифровых и оптических* систем передачи, являются более высококачественными. Поэтому ряд характеристик цифровых каналов ТЧ имеют следующие отличия.

Нормы на амплитудно-частотные искажения заданы МСЭ-Т в виде шаблона (Рис. 6.24). Если сравнить допустимые отклонения остаточных затуханий цифровых и аналоговых каналов ТЧ (см. Рис. 6.22), можно отметить, что нормы для цифровых каналов более жесткие. То же можно сказать и о фазочастотных искажениях (Рис. 6.25).

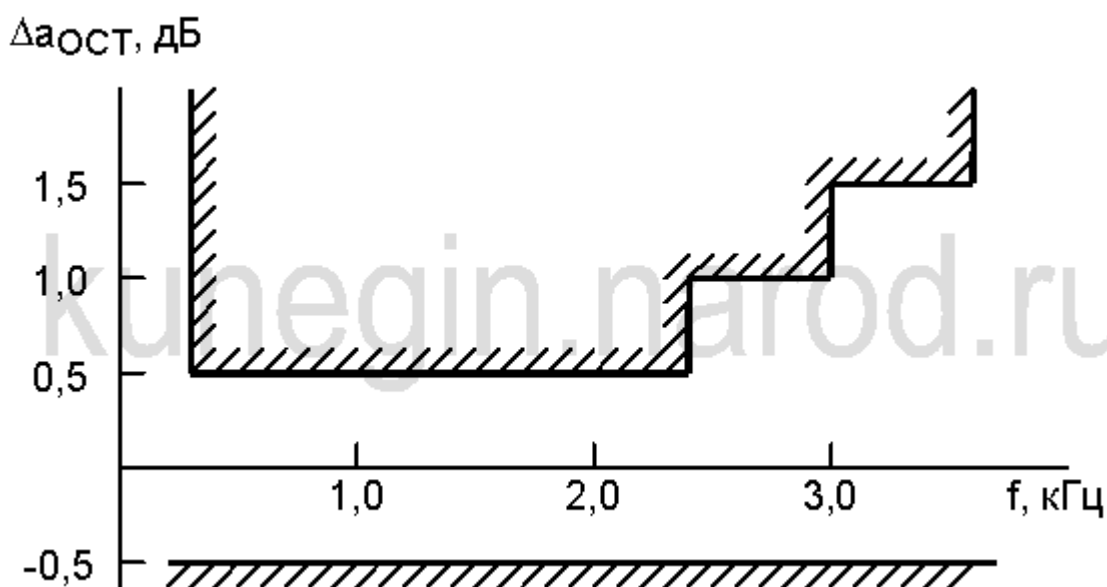


Рис. 6.24. Шаблон отклонений остаточного затухания цифрового канала ТЧ

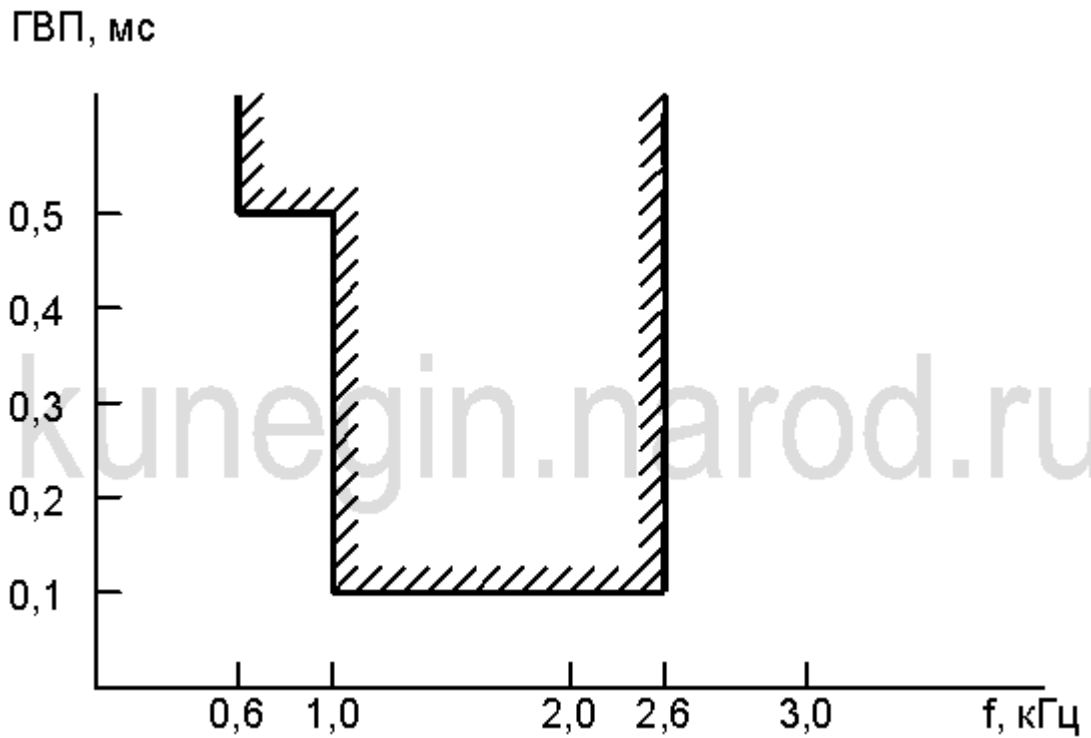


Рис. 6.25. Шаблон на допустимую неравномерность ГВП цифрового канала ТЧ

Для цифровых каналов ТЧ вводится дополнительная характеристика, которая оценивает шумы квантования. Эта характеристика задается в виде зависимости отношения сигнал/шум (ОСШ) от уровня сигнала (Рис. 6.26).

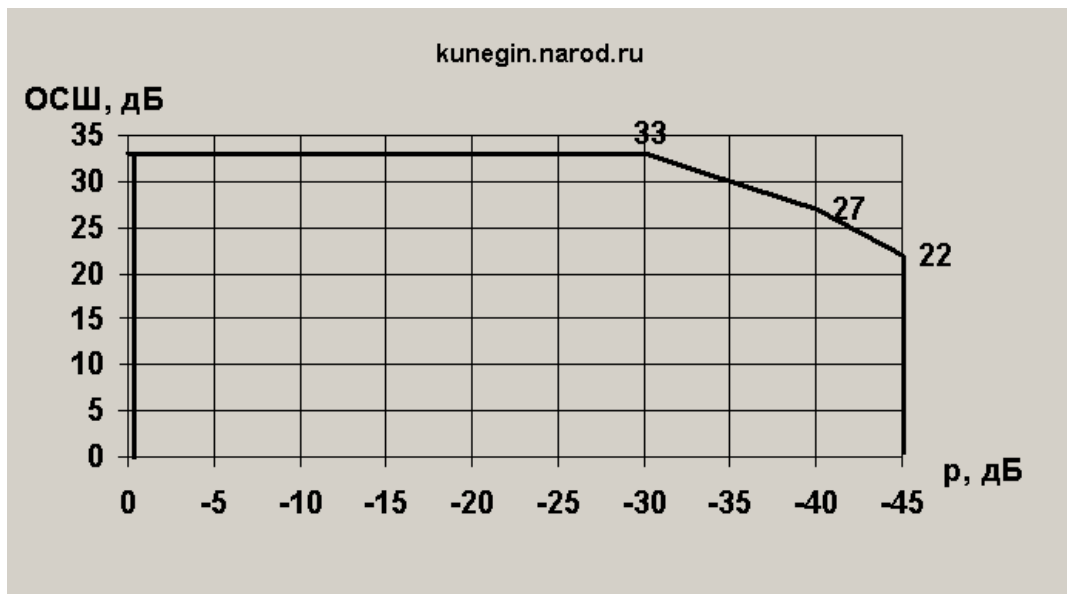


Рис. 6.26. Зависимость отношения сигнал/шум квантования от уровня сигнала

Широкополосные каналы. Современные системы передачи позволяют кроме стандартных каналов ТЧ организовать каналы с более высокой пропускной способностью. Увеличение пропускной способности достигается расширением ЭППЧ, причем широкополосные каналы образуются объединением нескольких каналов ТЧ.

В настоящее время аналоговые системы передачи предусматривают образование следующих широкополосных каналов:

- предгруппового канала с полосой частот 12..24 кГц взамен трех каналов ТЧ;
- первичного канала 60..108 кГц взамен 12 каналов ТЧ;
- вторичного канала 312..552 кГц взамен 60 каналов ТЧ;
- третичного канала 812..2044 кГц взамен 300 каналов ТЧ.

Кроме перечисленных каналов в системах передачи формируются каналы вещания и телевидения (со звуковым вещанием).

### 6.2.3. Формирование стандартных групповых сигналов

Для организации по одной линии передачи большого числа каналов в аналоговых системах передачи используют метод ЧРК и АМ для формирования отдельных канальных сигналов. Как отмечалось выше (см. подраздел 6.1.1 "[Методы модуляции в системах связи](#)"), наиболее сложным блоком амплитудных модуляторов и демодуляторов является полосовой фильтр. В ряде случаев (при высоких значениях несущей частоты) ширина полосы расфилтровки оказывается настолько малой, что выполнение высокочастотных фильтров оказывается затруднено, а иногда невозможно. В этих случаях по экономическим соображениям, в том числе с целью уменьшения количества типов используемых фильтров, объединение канальных сигналов в групповой осуществляется методом *многократного преобразования частоты*.

При многократном преобразовании (Рис. 6.27) сигнал проходит последовательно через несколько преобразователей частоты (ПЧ) с различными несущими частотами. Абсолютная ширина полосы расфилтровки на выходе каждого последующего ПЧ больше, чем на выходе предыдущего, что позволяет увеличивать значение несущих частот без уменьшения относительной ширины полосы расфилтровки.

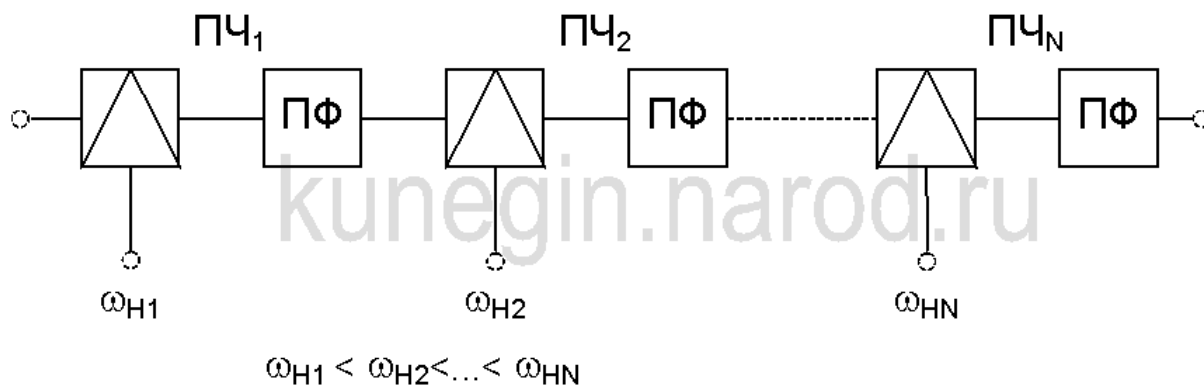


Рис. 6.27. Многократное преобразование частоты

Однако, общее число преобразователей и, следовательно, общее число разнотипных фильтров оказывается очень большим. В N-канальной системе число фильтров и их типов равно  $Nn$ , где  $n$  - число ступеней преобразования. Число фильтров и их типов можно уменьшить, если дополнить многократное преобразование *групповым*, при котором преобразованию подвергается групповой сигнал. С этой целью  $N$  каналов разбивается на  $m$  групп по  $K$  каналов, т.е.  $Km=N$ . В каждой группе сигнал каждого канала подвергается индивидуальному преобразованию с помощью несущих частот  $\omega_{Н1}$ ,  $\omega_{Н2}$ , ...,  $\omega_{НK}$  (Рис. 6.2). Во всех группах преобразование однотипно, поэтому на выходе каждой группы



образуется один и тот же спектр частот. Полученные групповые спектры подвергаются затем групповому преобразованию с несущими  $\omega_{ГР1}, \omega_{ГР2}, \dots, \omega_{ГРm}$ , так что после объединения преобразованных групповых сигналов образуется спектр частот  $N$  каналов. В рассматриваемом случае общее число фильтров равно  $N+mn_{ГР}$ , а число типов фильтров сокращается до  $K+mn_{ГР}$ , где  $n_{ГР}$  - число групповых ступеней преобразования.

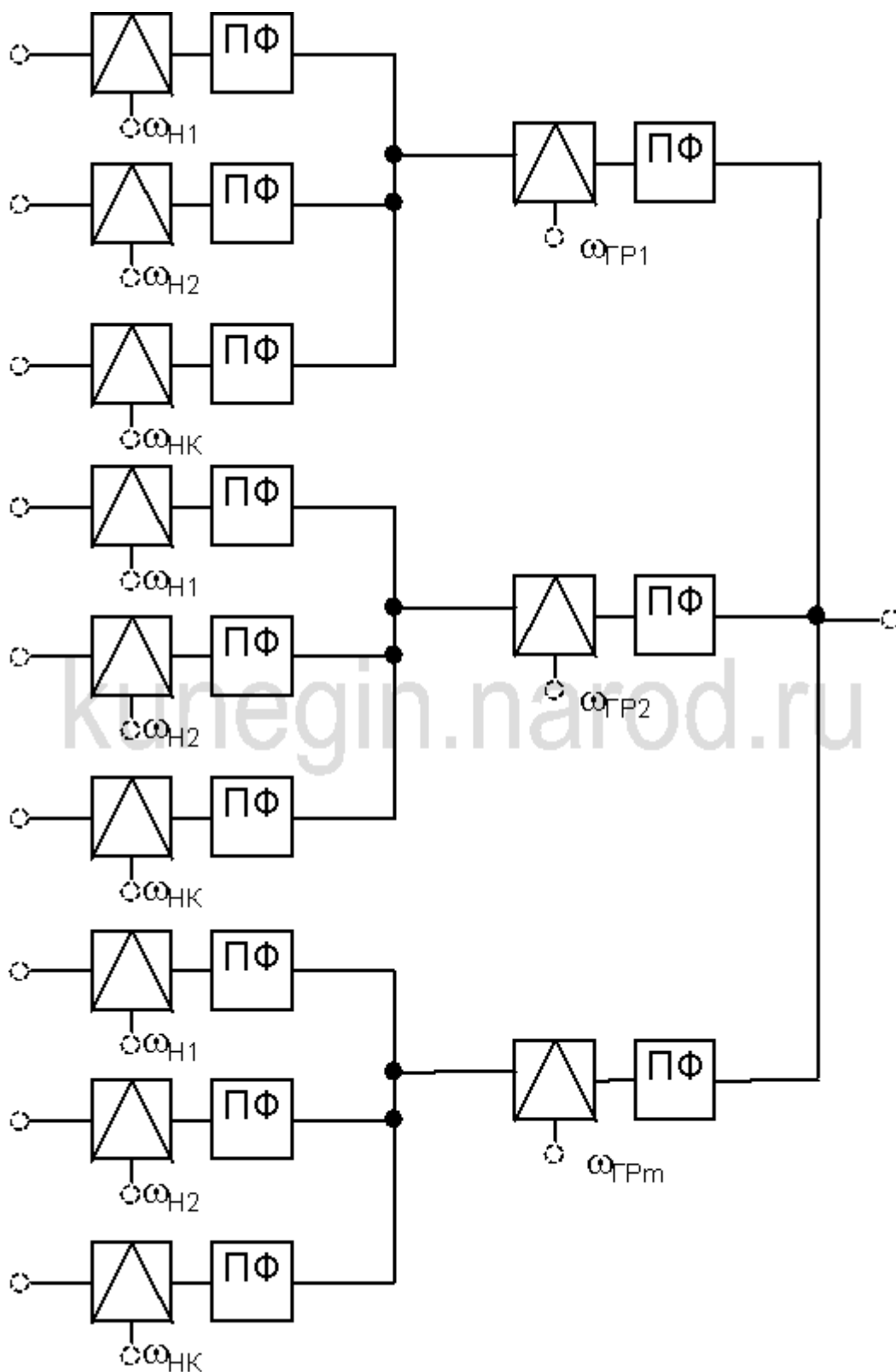


Рис. 6.28. Групповое преобразование частоты

Таким образом, применение многократного и группового преобразования позволяет унифицировать фильтровое оборудование системы, т.е. уменьшить его разнотипность. Такая унификация повышает технологичность изготовления узлов аппаратуры и, в конечном счете, удешевляет ее.

Кроме того, применение группового преобразования и стандартизации методов формирования групп каналов позволяет унифицировать часть оборудования различных систем. По этой причине МСЭ-Т были стандартизированы следующие основные группы каналов.

*Первичная группа* (ПГ) - 12 каналов ТЧ, спектр 60...108 кГц. Образуется однократным преобразованием с помощью несущих частот 64, 68, 72, ..., 108 кГц или двукратным преобразованием с помощью образования 4 трехканальных групп на несущих 12, 16, 20 кГц и их последующего преобразования на несущих 84, 96, 108, 120 кГц.

*Вторичная группа* (ВГ) - 60 каналов ТЧ, спектр 312...552 кГц. Образуется из 5 ПГ с помощью несущих 420, 468, 516, 564, 612 кГц. Возможность параллельной работы фильтров обеспечивается их подключением через развязывающий блок параллельной работы первичных групп (ПРПГ).

*Третичная группа* (ТГ) - 300 каналов ТЧ, спектр 812...2044 кГц. Образуется из 5 ВГ с помощью несущих  $(1364+(n-1)*248)$  кГц, где  $n$  - номер ВГ в спектре ТГ.

*Четверичная группа* (ЧГ) - 900 каналов ТЧ, спектр 8516..12388 кГц. Образуется из 3 ТГ. Может также формироваться из 15 ВГ.

Совокупность преобразовательного оборудования всех групп носит название каналообразующей аппаратуры. Ее назначение заключается в преобразовании индивидуальных сигналов в групповой сигнал одной из стандартных групп. Использование каналообразующей аппаратуры позволяет строить оконечную аппаратуру систем передачи различной емкости на основе стандартного преобразовательного оборудования и, следовательно, создавать унифицированное техническое оборудование.

#### **6.2.4. Основные узлы систем передачи**

Основной тип *преобразователя частоты*, применяемый в СП с ЧРК, представляет собой амплитудный модулятор с полосовым фильтром, включенным на его выходе (см. Рис. 6.4). Фильтр выделяет одну из боковых полос частот в спектре выходного сигнала модулятора и подавляет на 65..70 дБ неиспользуемую полосу частот.

*Генераторное оборудование* СП с ЧРК предназначено для получения колебаний индивидуальных и групповых несущих частот, а также контрольных частот.

Каждое из этих колебаний должно удовлетворять ряду требований, важнейшими из которых являются стабильность частоты и амплитуды, помехозащищенность, надежность.

В современных СП все колебания несущих и контрольных частот вырабатываются в генераторном оборудовании (ГО), содержащем (Рис. 6.29): задающий генератор (ЗГ), аналоговые перемножители частоты в виде генераторов гармоник (ГГ), делитель частоты (ДЧ), узкополосные фильтры (ПФ), выделяющие соответствующие гармоники  $kf_0$ ,  $mf_0$ ,  $rf_0$ ,  $gf_0$  и т.д., усилители, обеспечивающие необходимую мощность несущих и контрольных частот.

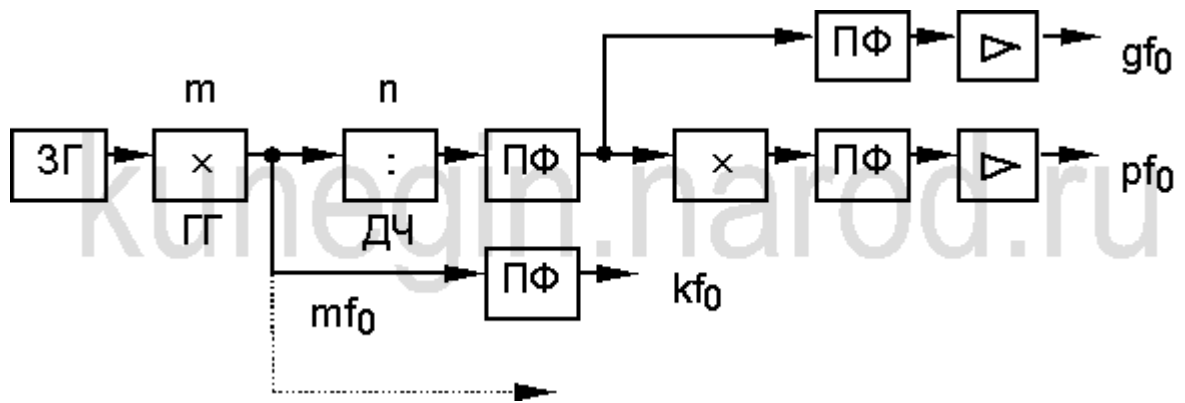


Рис. 6.29. Структурная схема генераторного оборудования

Стабильность и точность частоты ЗГ устанавливается на основе требований МСЭ-Т по допустимому сдвигу частот в канале ТЧ при прохождении двух станций, который не должен превышать 1 Гц. Для получения высокой стабильности частоты ЗГ стабилизируется кварцевым резонатором, помещенным в термостат.

Колебания, вырабатываемые ГО, должны быть защищены от помех, особенно от гармоник частоты напряжения питающей сети 50 Гц.

В большинстве аналоговых СП предусмотрено 100%-ное резервирование узлов ГО, причем переключение на резервное оборудование, как правило, происходит автоматически.

### 6.2.5. Методы организации двусторонних трактов

Различают две основных схемы организации двусторонних трактов:

Однополосная четырехпроводная (Рис. 6.29, а). Линейные тракты имеют совпадающие спектры. При использовании симметричных кабелей во избежание значительных взаимных влияний линейные тракты размещаются в различных кабелях. Такая схема называется двухкабельной. При использовании коаксиального кабеля взаимные влияния практически отсутствуют, поэтому коаксиальные пары могут размещаться в одном кабеле. Такая схема называется однокабельной.

Двухполосная двухпроводная (Рис. 6.29, б). Используется один и тот же линейный тракт. При этом связь в противоположных направлениях передачи организуется в разных полосах частот при помощи пары направляющих фильтров ФВЧ и ФНЧ.

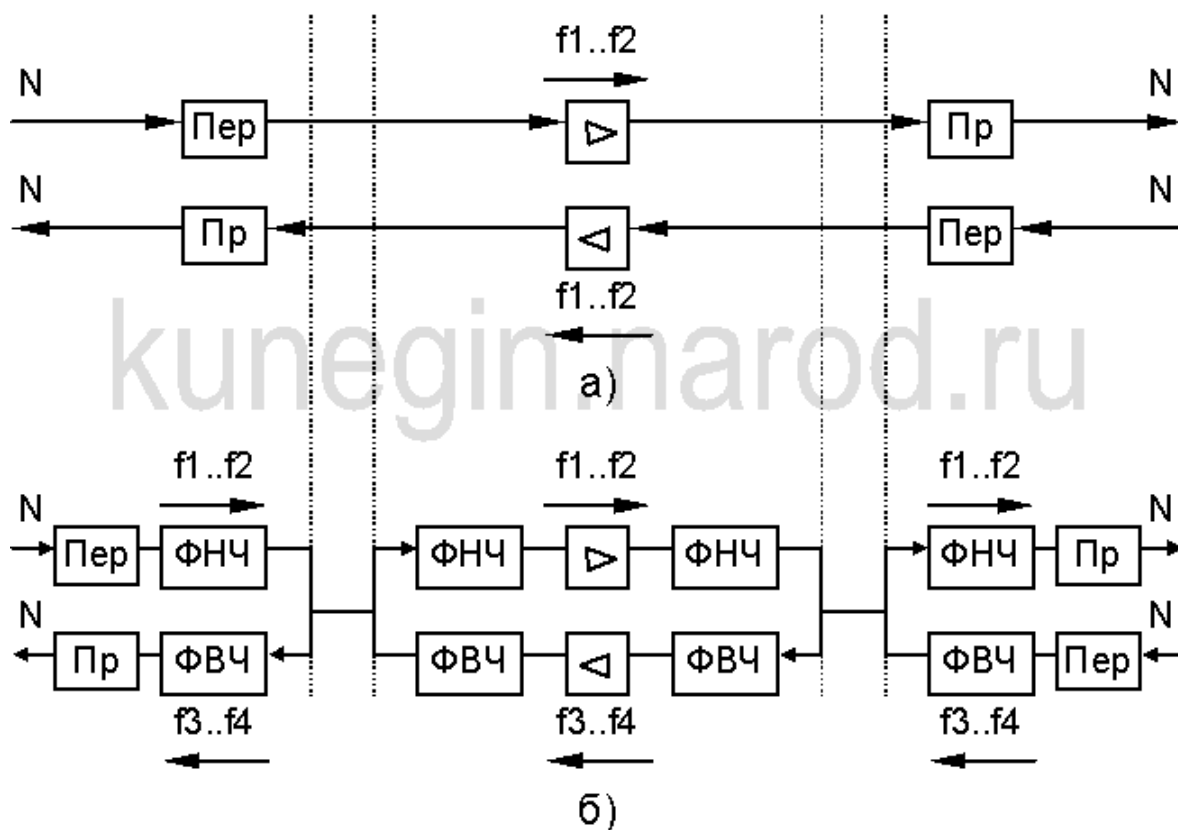


Рис. 6.30. Однополосный четырехпроводный (а) и двухполосный двухпроводный (б) линейные тракты

### 6.2.6. Краткая характеристика систем передачи

*Системы передачи для магистрального участка первичной сети:*

К-1920П. Позволяет организовать 1920 каналов ТЧ или 300 каналов ТЧ и канал телевизионного (ТВ) и звукового вещания (ЗВ). В первом случае линейный спектр формируется из 6 ТГ и 2 ВГ в полосе частот 312...8524 кГц. Во втором случае преобразуются 5 ВГ, которые совместно с каналами ТВ и ЗВ занимают полосу частот 273...8491 кГц. Дальность действия 12500 км, максимальная длина переприемного участка по ТЧ 1500 км. В линейном тракте используются ОУП и НУП. Питание НУП осуществляется дистанционно. Между двумя ОУП может размещаться до 40 НУП. Длина усилительного участка  $6 \pm 0,15$  км.

К-3600. Позволяет организовать 360 каналов ТЧ или 1800 каналов ТЧ, а также канал ТВ и ЗВ. Линейный спектр 812...17596 кГц. Дальность действия 12500 км. В линейном тракте используются ОУП и НУП. Питание НУП осуществляется дистанционно. Между двумя ОУП может размещаться до 61 НУП. Длина усилительного участка  $3 \pm 0,15$  км.

К-10800 и К-5400. Линейный спектр 4..60 МГц. Небольшая длина усилительного участка, равная 1,5 км, обусловила высокую стоимость каналоклометра, получаемого с помощью К-10800. К-5400 имеет линейный спектр 4..32 МГц, за счет чего длина усилительного участка у данной системы равна  $3 \pm 0,15$  км. Это позволяет использовать систему передачи К-5400 для реконструкции магистралей, оборудованных К-1920П и К-3600.

На магистральном участке первичной сети также используются системы передачи VLT-1920, ВК-960. Распределительная система К-1020Р образует с системой К-3600 единый комплекс и предназначена для распределения каналов по промежуточным пунктам основной магистрали.

Системы передачи для зонного участка первичной сети:

К-300. Предназначена для работы по коаксиальному кабелю МКТ-4 с четырьмя парами. Организуется два линейных тракта общей емкостью 600 каналов ТЧ. Линейный спектр формируется из 5 ВГ в полосе частот 60...1300 кГц. Дальность действия системы составляет 12500 км, что позволяет использовать ее при небольшой потребности в каналах на магистральном участке первичной сети.

К-120 и К-420. Используются однокоаксиальные кабели, поэтому линейный тракт организован по двухполосной схеме. В прямом направлении передается спектр 60...552 кГц, в обратном - 812...1304 кГц. Система К-420 разработана для модернизации участков зонной сети, оборудованных К-120. Прирост канальной емкости составляет 300 каналов ТЧ.

К-60П и К-1020С. Используются симметричные кабели с различным числом пар (четверок). Система К-60П широко распространена на сетях связи. Линейный спектр составляет 12...252 кГц и формируется путем преобразования одной стандартной ВГ. Значительное число линий передачи магистральной сети организовано с применением симметричного кабеля и системы К-60П. С целью увеличения канальной емкости при использовании существующих симметричных линий передачи была разработана система К-1020С. Линейный спектр образуется из двух ВГ и трех ТГ и занимает полосу частот 312...4636 кГц.

Системы передачи для местного участка первичной сети:

Системы передачи местной сети работают по симметричным кабелям и воздушным линиям связи. Требования, предъявляемые к системам городского и сельского участков сети, существенно различаются. Городские системы передачи предназначены для организации большого числа каналов на сравнительно малые расстояния, в то время как сельские - для организации малого числа каналов на сравнительно большие расстояния.

КАМА. Позволяет организовать 30 каналов ТЧ. Используются симметричные кабели разных типов. Связь организуется на сравнительно небольшое расстояние - максимальная дальность связи не превышает 80 км при наличии в линейном тракте шести НУП. Если протяженность линии передачи не превышает 15 км, система КАМА работает без применения промежуточных усилительных станций.

КНК-6Т и КНК-12Т. Предназначены для организации соединительных линий между сельскими АТС. Используются одночетверочные симметричные кабели. Максимальная длина связи составляет 105 и 120 км в зависимости от диаметра жил используемого кабеля.

В-3-3 и В-12-3. Предназначены для работы по ВЛС. Удельный вес на сельском и даже зонном участках первичной сети еще длительное время останется значительным. Максимальная частота линейного спектра не превышает 150 кГц.

АВУ. Аппаратура абонентского высокочастотного уплотнения. Позволяет организовать на абонентской линии один дополнительный канал. Осуществляется преобразование на несущей 28 кГц при передаче от абонента к станции, и на несущей 64 кГц в обратном направлении.

## 6.3. Цифровые системы передачи

### 6.3.1. Особенности построения цифровых систем передачи

Основной тенденцией развития телекоммуникаций во всем мире является *цифровизация* сетей связи, предусматривающая построение сети на базе цифровых методов передачи и коммутации. Это объясняется следующими существенными преимуществами цифровых методов передачи перед аналоговыми.

Высокая помехоустойчивость. Представление информации в цифровой форме позволяет осуществлять регенерацию (восстановление) этих символов при передаче их по линии связи, что резко снижает влияние помех и искажений на качество передачи информации.

Слабая зависимость качества передачи от длины линии связи. В пределах каждого регенерационного участка искажения передаваемых сигналов оказываются ничтожными. Длина регенерационного участка и оборудование регенератора при передаче сигналов на большие расстояния остаются практически такими же, как и в случае передачи на малые расстояния. Так, при увеличении длины линии в 100 раз для сохранения неизменным качества передачи информации достаточно уменьшить длину регенерационного участка лишь на несколько процентов.

Стабильность параметров каналов ЦСП. Стабильность и идентичность параметров каналов (остаточного затухания, частотной и амплитудной характеристик и др.) определяются в основном устройствами обработки сигналов в аналоговой форме. Поскольку такие устройства составляют незначительную часть оборудования ЦСП, стабильность параметров каналов в таких системах значительно выше, чем в аналоговых. Этому также способствует отсутствие в ЦСП влияния загрузки системы на параметры отдельных каналов.

Эффективность использования пропускной способности каналов для передачи дискретных сигналов. При вводе дискретных сигналов непосредственно в групповой тракт ЦСП скорость их передачи может приближаться к скорости передачи группового сигнала. Если, например, при этом будут использоваться временные позиции, соответствующие только одному каналу ТЧ, то скорость передачи будет близка к 64 кбит/с, в то время как в аналоговых системах она обычно не превышает 33,6 кбит/с.

Возможность построения цифровой сети связи. Цифровые системы передачи в сочетании с цифровыми системами коммутации являются основой цифровой сети связи, в которой передача, транзит и коммутация сигналов осуществляются в цифровой форме. При этом параметры каналов практически не зависят от структуры сети, что обеспечивает возможность построения гибкой разветвленной сети, обладающей высокими надежностными и качественными показателями.

Высокие технико-экономические показатели. Передача и коммутация сигналов в цифровой форме позволяют реализовывать оборудование на единых аппаратных платформах. Это позволяет резко снижать трудоемкость изготовления оборудования,

значительно снижать его стоимость, потребляемую энергию и габариты. Кроме того, существенно упрощается эксплуатация систем и повышается их надежность.

Требования к ЦСП определены в рекомендациях МСЭ-Т серии G.

### 6.3.2. Иерархии цифровых систем передачи

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

Аналоговые системы передачи с ЧРК также строятся по иерархическому принципу, но в отличие от ЦСП для них ступенями иерархии являются не сами системы передачи, а типовые группы каналов.

Цифровая система передачи, соответствующая первой ступени иерархии, называется первичной; в этой ЦСП осуществляется прямое преобразование относительно небольшого числа первичных сигналов в первичный цифровой поток. Системы передачи второй ступени иерархии объединяют определенное число первичных потоков во вторичный цифровой поток и т.д.

В рекомендациях МСЭ-Т представлено два типа иерархий ЦСП: плезиохронная цифровая иерархия (ПЦИ) и синхронная цифровая иерархия (СЦИ). Первичным сигналом для *всех* типов ЦСП является цифровой поток со скоростью передачи 64 кбит/с, называемый основном цифровом каналом (ОЦК). Для объединения сигналов ОЦК в групповые высокоскоростные цифровые сигналы используется рассмотренный ранее принцип *временного разделения каналов*. Преобразование первичных аналоговых (в том числе речевых телефонных) сигналов в ОЦК будет рассмотрено ниже (см. подраздел 8.2 "Цифровая обработка аналоговых сигналов").

Появившаяся исторически первой плезиохронная цифровая иерархия имеет *европейскую, североамериканскую и японскую* разновидности (Табл. 6.1).

Табл. 6.1.

Уровень иерархии	Европа		Северная Америка		Япония	
	Скорость Мбит/с	Коэфф. мультиплекс.	Скорость Мбит/с	Коэфф. мультиплекс.	Скорость Мбит/с	Коэфф. мультиплекс.
0	0,064	-	0,064	-	0,064	-
1	2,048	30	1,544	24	1,544	24
2	8,448	4	6,312	4	6,312	4
3	34,368	4	44,736	7	32,064	5

4	139,264	4			97,728	3
---	---------	---	--	--	--------	---

Для цифровых потоков ПЦИ применяют соответствующие обозначения. Для североамериканской и японской ПЦИ применяется обозначение Т (иногда DS), для европейской ПЦИ - Е. Цифровые потоки первого уровня обозначаются соответственно Т-1 и Е-1, второго Т-2 и Е-2 и т.д.

К использованию на сетях связи РФ принята европейская ПЦИ.

### 6.3.3. Европейская плезиохронная цифровая иерархия

Скорости цифровых потоков одной и той же ступени ПЦИ, но образуемых ЦСП, расположенными на различных станциях сети, могут несколько отличаться друг от друга в пределах допустимой нестабильности частот задающих генераторов. Именно поэтому рассматриваемая иерархия ЦСП называется плезиохронной. Наличие нестабильности задающих генераторов требует принятия специальных мер при объединении потоков в поток более высокой ступени иерархии, что заметно усложняет эксплуатацию первичной сети связи в целом и снижает ее качественные показатели.

Принцип объединения и разделения цифровых потоков европейской ПЦИ показан на Рис. 6.31. Очевидно, что оконечные станции должны иметь только половину показанного оборудования. При выделении низкоскоростного потока (например, со скоростью 2 Мбит/с, как показано на Рис. 6.31) на промежуточной станции, последняя должна иметь все оборудование, показанное на Рис. 6.31.

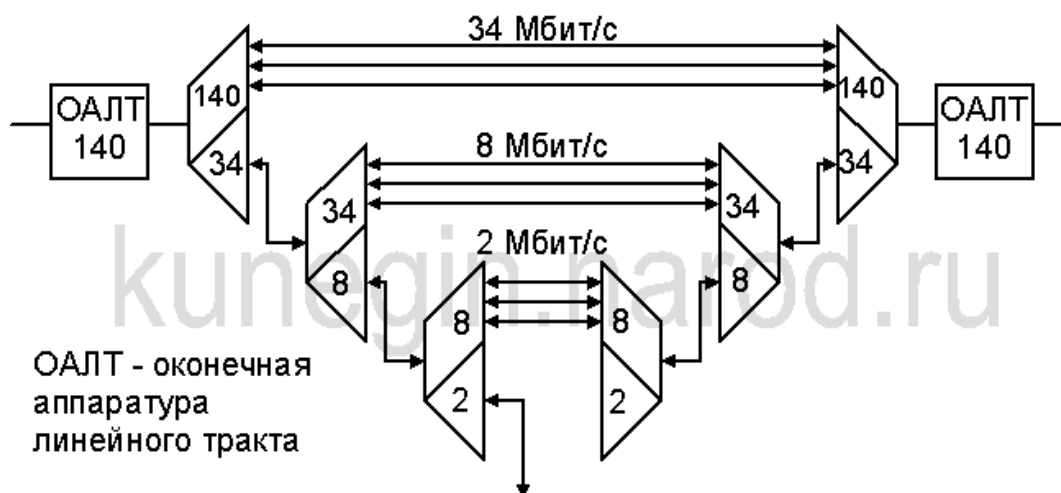


Рис. 6.31. Схема объединения цифровых потоков европейской ПЦИ

На сети связи РФ эксплуатируются ЦСП ПЦИ отечественного и зарубежного производства. Отечественные системы носят название ЦСП с ИКМ (цифровые системы передачи с импульсно-кодовой модуляцией). Вместо уровня иерархии в обозначении системы указывается число информационных ОЦК данной системы. Так, ЦСП первого уровня иерархии обозначается ИКМ-30, второго - ИКМ-120 и т.д. В настоящее время разработан и представлен на сети полный спектр аппаратуры, реализующей европейскую ПЦИ.

Принципы синхронизации ЦСП. В плезиохронных ЦСП используется принцип ВРК, поэтому правильное восстановление исходных сигналов на приеме возможно только при



синхронной и синфазной работе генераторного оборудования (ГО) на передающей и приемной станциях. Для нормальной работы плезиохронных ЦСП должны быть обеспечены следующие виды синхронизации:

- тактовая синхронизация обеспечивает равенство скоростей обработки цифровых сигналов в линейных и станционных регенераторах, кодеках и других устройствах ЦСП, осуществляющих обработку сигнала с тактовой частотой  $F_T$ ;
- цикловая синхронизация обеспечивает правильное разделение и декодирование кодовых групп цифрового сигнала и распределение декодированных отсчетов по соответствующим каналам в приемной части аппаратуры;
- сверхцикловая синхронизация обеспечивает на приеме правильное распределение сигналов управления и взаимодействия (СУВ) по соответствующим телефонным каналам. СУВ представляют собой набор сигналов, управляющих работой АТС (набор номера, ответ, отбой, разъединение и пр.)

Нарушение хотя бы одного из видов синхронизации приводит к потере связи по всем каналам ЦСП.

Система *тактовой синхронизации* включает в себя (Рис. 6.32) задающий генератор (ЗГ), входящий в состав ГО передающего оборудования оконечной станции (Пер) и вырабатывающий импульсную последовательность тактовой частоты  $F_T$ , и устройства выделения тактовой частоты (ВТЧ), устанавливаемые в том оборудовании, где осуществляется обработка сигнала с частотой  $F_T$ : в линейных регенераторах (ЛР) и приемном оборудовании (Пр) оконечной станции.

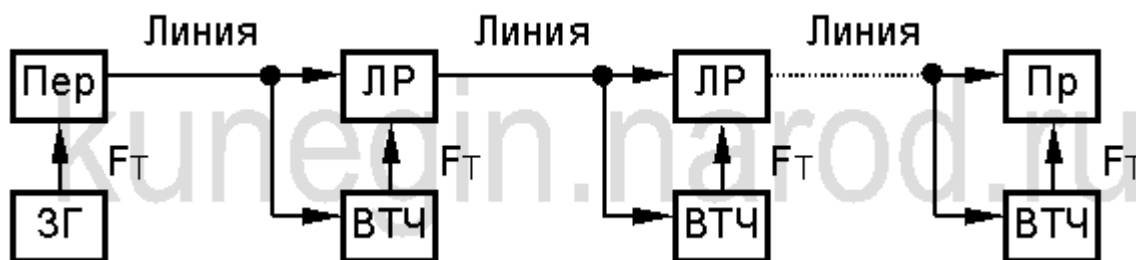


Рис. 6.32. Структурная схема тактовой синхронизации

Наиболее распространенным методом выделения тактовой частоты является метод пассивной фильтрации, который состоит в том, что из спектра группового цифрового сигнала с помощью ВТЧ, содержащего высокодобротные резонансные контуры, фильтры-выделители или избирательные усилители, выделяется тактовая частота. Этот способ характеризуется простотой реализации ВТЧ, но имеет существенный недостаток: стабильность выделения тактовой частоты зависит от стабильности параметров фильтра-выделителя и структуры цифрового сигнала (при появлении длинных серий нулей или кратковременных перерывов связи затрудняется процесс выделения тактовой частоты).

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

*Цикловая синхронизация* осуществляется следующим образом. На передающей станции в состав группового цифрового сигнала в начале цикла вводится цифровой синхросигнал (СС). На приемной станции устанавливается приемник синхросигнала (ПСС), который выделяет цикловой синхросигнал из группового цифрового сигнала и тем самым

определяет начало цикла передачи. Цикловой синхросигнал должен обладать определенными отличительными признаками, в качестве которых используется заранее определенная и неизменная структура синхросигнала (например, 0011011 в ЦСП ИКМ-30). Групповой цифровой сигнал в силу случайного характера информационных сигналов такими свойствами не обладает.

К системе цикловой синхронизации предъявляются следующие требования:

- время вхождения в синхронизм при первоначальном включении аппаратуры и время восстановления синхронизма при его нарушении должно быть минимально возможным;
- приемник синхросигнала должен обладать высокой помехоустойчивостью, т.е. иметь защиту от установления ложного синхронизма и от ложного выхода из синхронизма;
- число символов синхросигнала и частота повторения должны быть минимально возможными.

Эти требования носят противоречивый характер, поэтому приходится принимать компромиссные решения.

Схемы ПСС (Рис. 6.33) обычно включают в себя блоки обнаружения СС на основе схем совпадения, счетчики обнаружения СС в данной временной позиции, счетчики-накопители по входу в синхронизм и выходу из синхронизма.

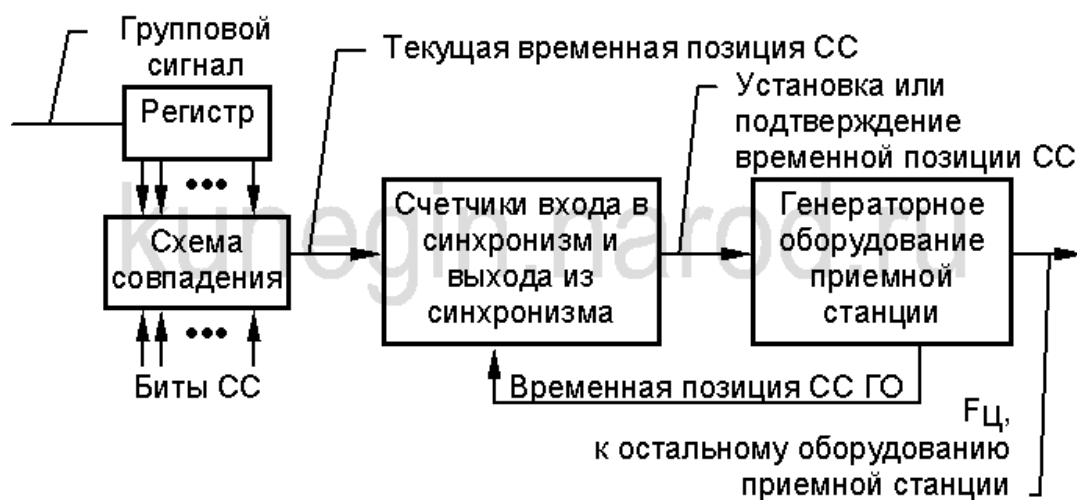


Рис. 6.33. Структурная схема приемника синхросигнала

Работа системы *сверхцикловой синхронизации*, как и работа системы цикловой синхронизации, основана на передаче сверхциклового синхросигнала (СЦС) в одном из циклов сверхцикла. Принцип работы приемника СЦС аналогичен работе ПСС.

Генераторное оборудование ЦСП. Все процессы обработки сигналов в ЦСП строго регламентированы по времени. Последовательность обработки сигнала в оборудовании ЦСП задается генераторным оборудованием.

ГО обеспечивает формирование и распределение всех импульсных последовательностей, управляющих процессами преобразования сигналов в ЦСП. В ГО передающей станции

импульсные последовательности получают путем деления тактовой частоты высокостабильного задающего генератора ЗГ.

Обычно предусматриваются следующие режимы работы ГО: *внутренней синхронизации*, при котором осуществляется работа от высокостабильного автономного ЗГ (с относительной нестабильностью  $\pm 10^{-5}..10^{-6}$ ); *внешнего запуска*, при котором осуществляется работа внешнего ЗГ; *внешней синхронизации*, при котором осуществляется подстройка частоты ЗГ с помощью ФАПЧ, управляемой внешним сигналом.

Структура ГО приемной станции отличается тем, что тактовая частота подается не от ЗГ, а от ВТЧ, а установка ГО приема по циклу и сверхциклу осуществляется с помощью сигналов, поступающих от приемников синхросигналов.

Рассмотрим структуру кадра передачи ЦСП ИКМ-30 (Рис. 6.34). Данный поток называется первичным цифровым потоком и организуется объединением 30-ти информационных ОЦК.

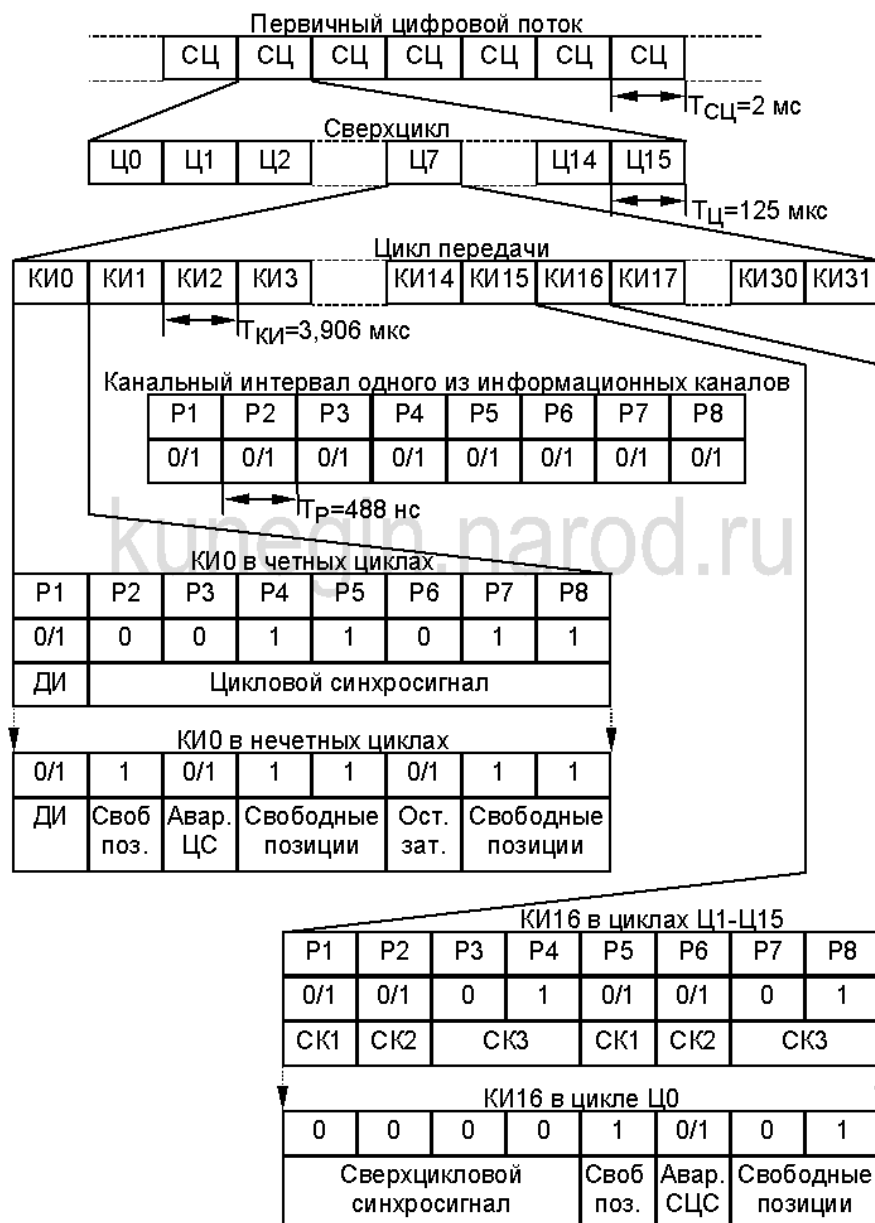


Рис. 6.34. Структура кадра ЦСП ИКМ-30

Канальные интервалы КИ1-КИ15, КИ17-КИ31 отведены под передачу информационных сигналов. КИ0 и КИ16 - под передачу служебной информации. Интервалы КИ0 в четных циклах предназначаются для передачи циклового синхросигнала (ЦСС), имеющего вид 0011011 и занимающего интервалы Р2 - Р8. В интервале Р1 всех циклов передается информация постоянно действующего канала передачи данных (ДИ). В нечетных циклах интервалы Р3 и Р6 КИ0 используются для передачи информации о потере цикловой синхронизации (Авар. ЦС) и снижении остаточного затухания каналов до значения, при котором в них может возникнуть самовозбуждение (Ост. зат). Интервалы Р4, Р5, Р7 и Р8 являются свободными, их занимают единичными сигналами для улучшения работы выделителей тактовой частоты.

В интервале КИ16 нулевого цикла (Ц0) передается сверхциклового синхросигнал вида 0000 (Р1 - Р4), а также сигнал о потере сверхциклового синхронизации (Р6 - Авар. СЦС). Остальные три разрядных интервала свободны. В канальном интервале КИ16 остальных циклов (Ц1 - Ц15) передаются сигналы служебных каналов СК1 и СК2, причем в Ц1 передаются СК для 1-го и 16-го каналов ТЧ, в Ц2 - для 2-го и 17-го и т.д. Интервалы Р3, Р4, Р6 и Р7 свободны.

Принятая структура построения ЦСП ПЦИ реализуется посредством объединения и разделения тем или иным способом типовых цифровых потоков. Сущность любого *способа объединения* заключается в том, что информация, содержащаяся в поступающих потоках, записывается в запоминающие устройства, а затем поочередно считывается в моменты, отводимые ей в объединенном потоке.

Различают объединение трех типов потоков: синфазно-синхронных, синхронных и асинхронных (плезиохронных).

В первом случае *совпадают* не только скорости объединяемых потоков, но и начала их отсчетов.

Во втором случае *скорости потоков совпадают*, но их начала отсчетов произвольно смещены друг относительно друга. Это заставляет вводить в объединенный поток специальный синхросигнал, указывающий порядок объединения. После синхросигнала передается информация первого объединяемого потока, затем - второго и т. д.

В наиболее общем случае объединения *асинхронных (плезиохронных)* потоков в объединенный поток помимо синхросигнала, указывающего порядок объединения, вводится служебная информация, обеспечивающая необходимое согласование скоростей объединяемых потоков. Очевидно возможны два случая несоответствия скорости записи объединяемого потока и скорости считывания объединенного потока:

1) *Скорость считывания превышает скорость записи.* В этом случае применяется так называемый процесс положительного согласования скоростей (ПСС), представляющий собой вставку (стаффинг) дополнительного бита в объединяемый поток.

2) *Скорость считывания меньше скорости записи.* В этом случае применяется так называемый процесс отрицательного согласования скоростей (ОСС), представляющий собой передачу отстающего информационного бита вместо одного из служебных.

Операции разделения потоков являются обратными операциям объединения: информация объединенного потока записывается в запоминающие устройства, соответствующие исходным потокам, затем считывается со скоростями, равными скоростям объединяемых потоков.

В большинстве случаев объединение потоков осуществляется *побитно* (побитно), т.е. считывание информации из запоминающих устройств при объединении происходит по разрядам: вначале считывается и передается разряд первого потока, затем - второго и т.д., после считывания разряда последнего из объединяемых потоков вновь считывается очередной разряд первого, т.е. цикл повторяется.

Возможно объединение и *по группам символов*. Например в объединенном потоке можно вначале передать все символы, относящиеся к каналу или циклу передачи первого потока, затем - такую же группу символов второго и т.д. Объединение по группам символов требует увеличения объема памяти оперативных запоминающих устройств пропорционально числу объединяемых групп символов.

Структура кадра вторичной ЦСП ПЦИ (ИКМ-120) (Рис. 6.35) является типичной для всех высших уровней этой иерархии. Цикл передачи имеет длительность 125 мкс и состоит из 1056 позиций. Цикл разделен на 4 субцикла, одинаковых по длительности. Первые восемь бит первого субцикла заняты комбинацией 11100110, представляющий собой цикловой синхросигнал объединенного потока. Первые четыре бита второго субцикла заняты первыми символами команд согласования скоростей (КСС), а следующие четыре - сигналами служебной связи. Вторые и третьи символы КСС занимают первые четыре бита третьего и четвертого субциклов. Биты 5-8 третьего субцикла используются для передачи сигналов данных (два бита), аварийных сигналов и вызова по каналу служебной связи (по одному биту). В битах 5-8 четвертого субцикла передается информация объединяемых потоков при ОСС. При ПСС исключаются биты 9-12 четвертого субцикла.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	263	264
Цикловой синхросигнал 11100110								Побитно объединенная информация 4 исходных потоков				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	263	264
1-е символы КСС				Служебная связь				Побитно объединенная информация 4 исходных потоков				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	263	264
2-е символы КСС				Данные		Ав.	Выз	Побитно объединенная информация 4 исходных потоков				

Рис. 6.35. Структура кадра ЦСП ИКМ-120

Кроме основных ЦСП разработаны системы передачи, не входящие непосредственно в европейскую ПЦИ. К ним относятся:

- Субпервичная система ИКМ-15, преобразующая сигналы 15 телефонных каналов в цифровой поток со скоростью 1024 кбит/с. Цифровые потоки двух систем ИКМ-15 могут быть объединены устройством объединения "Зона-15" в первичный цифровой поток.

- Аналого-цифровое оборудование АЦО-ЧРКВ, которое преобразует сигналы типовой вторичной группы каналов (60-канальной) системы передачи с ЧРК в три первичных цифровых потока.

- Аналого-цифровое оборудование АЦО-ТВ, позволяющее преобразовывать канал телевизионного вещания и два канала звукового сопровождения (или один стерео) в три третичных цифровых потока.

Основные параметры ЦСП плезеохронной цифровой иерархии приведены в Табл. 6.2.

Табл. 6.2

Параметр	ИКМ-15	ИКМ-30 (ИКМ-30С)	ИКМ-120	ИКМ-480	ИКМ-1920
Число каналов ТЧ	15	30	120	480	1920
Скорость передачи входных потоков, кбит/с	-	-	2048 (1 ± 3× 10 <sup>-5</sup> )	8448 (1 ± 2× 10 <sup>-5</sup> )	34368 (1 ± 1,5× 10 <sup>-5</sup> )
Скорость передачи выходных потоков, кбит/с	1024 (1 ± 3× 10 <sup>-5</sup> )	2048 (1 ± 3× 10 <sup>-5</sup> )	8448 (1 ± 2× 10 <sup>-5</sup> )	34368 (1 ± 1,5× 10 <sup>-5</sup> )	139264 (1 ± 1× 10 <sup>-5</sup> )
Тип кода линейного сигнала	NRZ-S	СМІ	СМІ или HDB-3	HDB-3	HDB-3
Среднее время восстановления циклового синхронизма, мс	2	2+2(СЦС)	0,75	0,5	0,15
Коэффициент ошибок на линейный тракт максимальной длины	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-7</sup>
Тип кабеля	КСПП, ВТСП	Т, ТПП (КСПП)	МКС, ЗКП	МКТ-4	КМБ-4

Длина участка регенерации, км	До 7,4	До 2,7 (3,8)	$5 \pm 0,5$	2,3...3,2	2,75...3,15
Максимальная длина секции ДП, км	50	43 (110)	200	200	240
Максимальная дальность связи, км	100	85 (440)	600	2500	2500
Максимальное число НРП между обслуживаемыми станциями	7	20 (28)	40	80	80

### 6.3.4. Синхронная цифровая иерархия

#### 6.3.4.1. Общие положения

Наиболее современной технологией, используемой в настоящее время для построения сетей связи, является синхронная цифровая иерархия (СЦИ) (Synchronous Digital Hierarchy - SDH). Она обладает существенными преимуществами по сравнению с системами предшествующих поколений, позволяет полностью реализовать возможности волоконно-оптических и радиорелейных линий, создавать гибкие, надежные, удобные для эксплуатации, контроля и управления сети, гарантируя высокое качество связи. Системы СЦИ обеспечивают скорости передачи от 155 Мбит/с и выше и могут транспортировать как сигналы существующих ЦСП, так и новых перспективных служб, в том числе широкополосных. Аппаратура СЦИ является программно управляемой и интегрирует в себе средства преобразования, передачи, оперативного переключения, контроля, управления.

СЦИ это новые мощные системы передачи, но и не только. Это и принципиальные изменения в сетевой архитектуре, организации управления. Внедрение СЦИ будет иметь далеко идущие последствия и для сетевых операторов, и для пользователей, и для производителей оборудования.

#### 6.3.4.2. Предпосылки создания СЦИ

Хотя ЦСП плезиохронной иерархии были значительным шагом в развитии связи по сравнению с аналоговыми системами, тем не менее ЦСП ПЦИ присущ ряд недостатков.

Во-первых, *наличие трех различных иерархий* (европейской, североамериканской и японской) крайне затрудняет организацию международной связи.

Во-вторых, в *ЦСП ПЦИ затруднен ввод/вывод цифровых потоков в промежуточных пунктах* и возникает парадоксальная ситуация, когда для выделения низкоскоростного потока требуется непропорционально большое количество сложного оборудования (см. Рис. 6.30). Данный недостаток становится особенно существенным при необходимости частого ввода/вывода цифровых потоков вдоль магистрали.

Кроме того, существенным *недостатком ПЦИ* является *отсутствие средств сетевого автоматизированного контроля и управления*, без которых невозможно создать сеть связи, удовлетворяющую современным требованиям к качеству обслуживания и надежности. Такие средства (в ограниченном объеме) имеются в ПЦИ лишь на уровне линий передачи, однако, они не стандартизированы, поэтому разработанные различными производителями оборудования ПЦИ системы контроля и управления линейных трактов несовместимы. Они не способны осуществлять контроль и управление групповыми трактами "из конца в конец" и тем более всей сетью.

При нарушениях синхронизации группового сигнала в ПЦИ сравнительно большое время требуется на *многоступенное восстановление синхронизации* компонентных потоков.

Преодолеть недостатки, оставаясь в рамках ПЦИ, было невозможно. Поэтому, когда в середине 80-х годов применение волоконно-оптических линий связи позволило существенно повысить скорости передачи, а внедрение цифровых коммутационных станций дало возможность создавать полностью цифровые синхронные сети, началась работа по переходу к СЦИ.

В качестве линий связи в СЦИ применяются ВОЛС. Неслучайно американский вариант СЦИ носит название SONET - от английских слов Synchronous Optical NETwork, что переводится как "синхронная оптическая сеть". В европейском варианте СЦИ возможно использование и радиорелейных линий (см. подраздел 6.4.5), которые применяются довольно давно, поэтому достаточно хорошо известны специалистам.

### 6.3.4.3. Основные принципы СЦИ

#### 6.3.4.3.1. Общая характеристика СЦИ

СЦИ позволяет организовать *универсальную транспортную систему*, охватывающую все участки сети и выполняющую функции как передачи информации, так и контроля и управления. Она рассчитана на транспортирование всех сигналов ПЦИ, а также всех действующих и перспективных служб, в том числе и широкополосной цифровой сети с интеграцией служб (B-ISDN), использующей асинхронный способ переноса (АТМ).

В СЦИ использованы последние достижения в электронике, системотехнике, вычислительной технике и т.п. Ее применение позволяет существенно сократить объем и стоимость аппаратуры, эксплуатационные расходы, сократить сроки монтажа и настройки оборудования. В то же время значительно повышаются надежность и живучесть сетей, их гибкость, качество связи.

Линейные сигналы СЦИ организованы в так называемые синхронные транспортные модули STM (Synchronous Transport Module) (Табл. 6.3). Первый из них - STM-1 - соответствует скорости 155 Мбит/с. Каждый последующий имеет скорость в 4 раза большую, чем предыдущий, и образуется побайтным синхронным мультиплексированием. Уже стандартизированы STM-4 (622 Мбит/с) и STM-16 (2,5 Гбит/с), ожидается принятие и STM-64 (10 Гбит/с).

Табл. 6.3

Уровень	Модуль	Скорость передачи
---------	--------	-------------------



1	STM-1	155 Мбит/с
4	STM-4	622 Мбит/с
16	STM-16	2,5 Гбит/с

Как уже отмечалось, основной средой передачи для СЦИ являются ВОЛС. Возможно также использование радиолиний. В тех случаях, когда пропускная способность радиолиний недостаточна для STM-1, может применяться субпервичный транспортный модуль STM-RR со скоростью передачи 52 Мбит/с (втрое меньше, чем у STM-1). Однако STM-RR не является уровнем СЦИ и не может использоваться на интерфейсах сетевых узлов.

В сети СЦИ используется принцип контейнерных перевозок. Подлежащие транспортированию сигналы предварительно размещаются в стандартных контейнерах С (Container). Все операции производятся с контейнерами независимо от их содержимого. Благодаря этому и достигается *прозрачность* сети СЦИ, т.е. возможность транспортировать различные сигналы ПЦИ, потоки ячеек АТМ или какие-либо другие сигналы.

Имеются контейнеры 4-х уровней. Все они, вместе с сигналами ПЦИ в них размещаемыми, указаны в Табл. 6.4 (скорость 8 Мбит/с европейской ПЦИ не дана, т.к. в настоящее время контейнер С-2 предназначен для новых сигналов с неиерархическими скоростями, например, ячеек АТМ).

Табл. 6.4

Уровень	Контейнер	Сигнал ПЦИ, Мбит/с
1	С-11	1,5
	С-12	2
2	С-2	6
3	С-3	34 и 45
4	С-4	140

Принципы размещения сигналов в контейнерах и схема преобразования последних для транспортирования в синхронных транспортных модулях описаны ниже.

Важной особенностью сети СЦИ является ее деление на *три функциональных слоя*, которые подразделяются на *подслои* (Табл. 6.5). Каждый слой обслуживает вышележащий слой и имеет определенные точки доступа. Слои имеют собственные средства контроля и управления, что упрощает операции по ликвидации последствий отказов и снижает их влияние на вышележащие слои. Независимость слоев позволяет внедрять, модернизировать или заменять их, не затрагивая другие слои.

Табл. 6.5

Слои	Подслои	
Каналы		
Тракты	Низшего порядка	
	Высшего порядка	
	Секции	мультиплексные
Среда передачи		регенерационные
	Физическая среда	

Самый верхний слой образует сеть *каналов*, обслуживающих конечных пользователей. Группы каналов объединяются в групповые *тракты* различных порядков (средний слой). Групповые тракты организуются в линейные тракты, относящиеся к нижнему слою *среды передачи*. Он подразделяется на слой *секций* (мультиплексных и регенерационных) и слой *физической среды*. Взаимосвязь и расположение некоторых слоев показаны на Рис. 6.34.

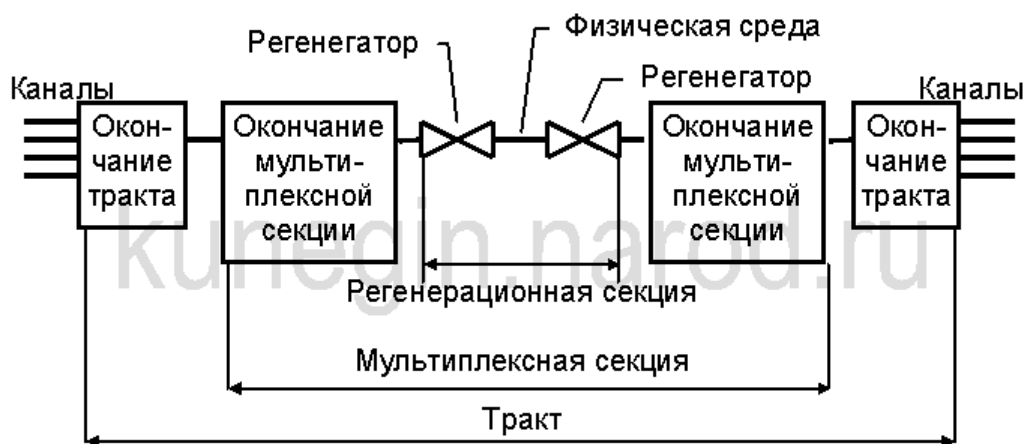


Рис. 6.34. Функциональные слои

### 6.3.4.3.2. Схемы преобразований и информационные структуры

#### 6.3.4.3.2.1. Схемы преобразований

Общая схема преобразований СЦИ изображена на Рис. 6.35. Ее сложность обусловлена тем, что она фактически объединяет две схемы: европейскую и американскую (SONET). Если выделить схему, принятую ETSI, то получится более простая и стройная система, представленная на Рис. 6.36. Именно она предусмотрена "Регламентом СЦИ для сети связи России", который утвержден ГКЭС в качестве технической правовой базы применения СЦИ на общегосударственной сети России.

Далее будет рассматриваться именно европейская схема.

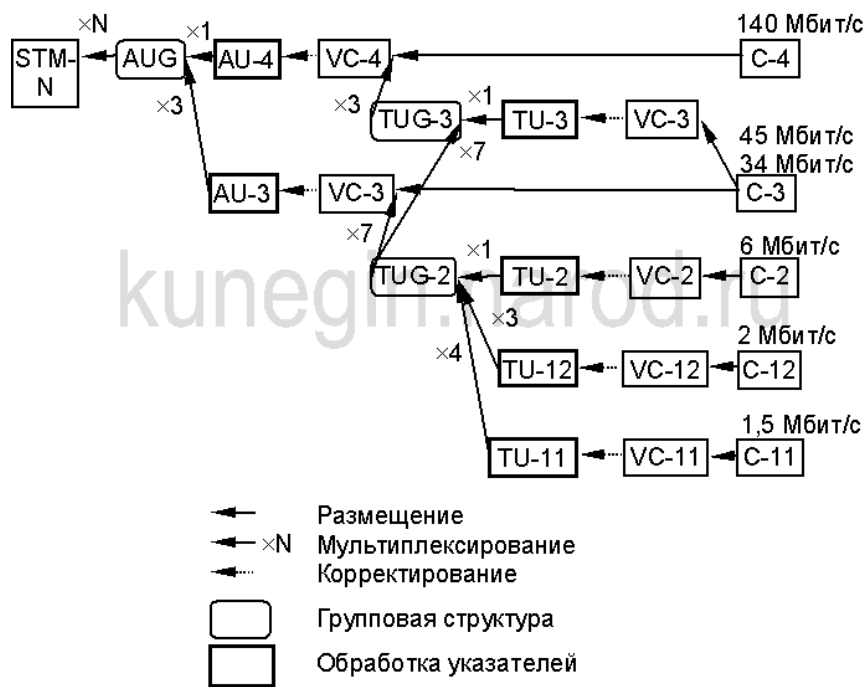


Рис. 6.35. Общая схема преобразований СЦИ

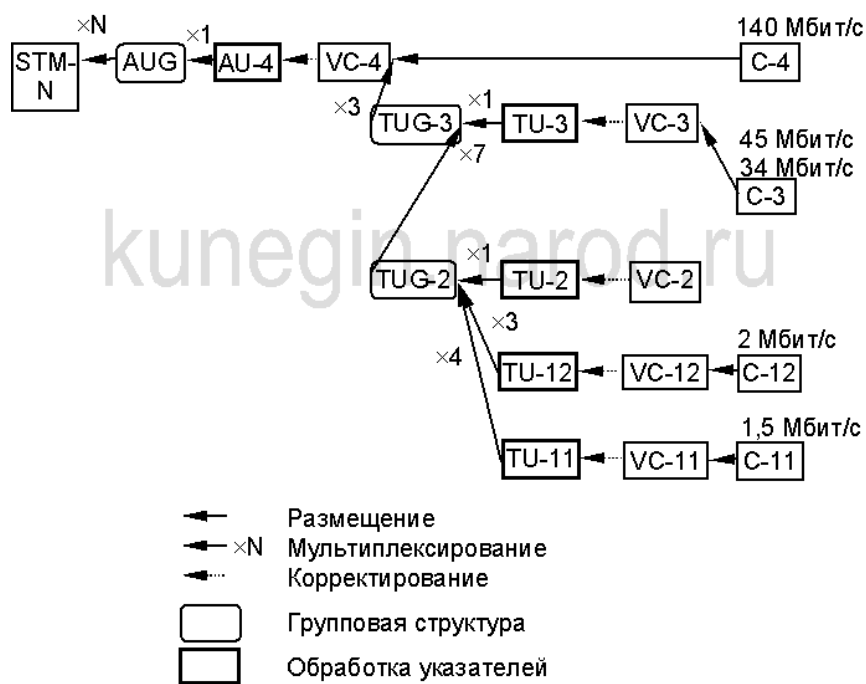


Рис. 6.36. Европейская схема преобразований СЦИ

### 6.3.4.3.2.2. Информационные структуры

Выше уже вводились информационные структуры, фигурирующие на входе и выходе схемы преобразований: контейнеры С и синхронные транспортные модули STM. Ниже будет описан целый ряд промежуточных структур. Не следует искать в их названиях какой-либо глубокий смысл - они являются переводом с английского, причем особого смысла не было и в оригинальных англоязычных названиях.

Для организации трактов используются *виртуальные контейнеры* VC (Virtual Container). Они образуются добавлением к соответствующему контейнеру *трактового заголовка* POH (Path OverHead), т.е. условно можно записать:  $VC = C + POH$

Как уже отмечалось выше, европейский стандарт не включает контейнер C-2. Соответствующий виртуальный контейнер VC-2 предназначен для транспортирования не сигналов ПЦИ, а новых сигналов с неиерархическими скоростями (например, ячеек АТМ).

Виртуальные контейнеры формируются и расформируются в точках окончания трактов. Трактовый заголовок позволяет осуществлять контроль качества трактов "из конца в конец" и передавать аварийную и эксплуатационную информацию.

Тракты, соответствующие виртуальным контейнерам 1-го и 2-го уровня VC-11 и VC-12, относятся к трактам низшего порядка, а виртуальным контейнерам 3-го и 4-го уровней VC-3 и VC-4 - высшего.

При мультиплексировании циклы различных компонентных потоков могут не совпадать как между собой, так и с циклом агрегатного потока. В ПЦИ этому не придается значение, именно поэтому операции ввода-вывода там столь громоздки (см. Рис. 6.30). Для разрешения указанной проблемы в СЦИ служат *указатели* PTR (pointer). Они указывают, где именно внутри цикла синхронного транспортного модуля STM-1 находятся начальные позиции циклов компонентных потоков. Это позволяет легко производить ввод-вывод потоков.

Виртуальные контейнеры 1-го, 2-го и 3-го уровней вместе с соответствующими указателями образуют *субблоки* TU (Tributary Unit), а 4-го уровня - *административный блок* AU (Administrative Unit). Таким образом,  $TUn = VCn + TU\_PTR$  ( $n=11, 12, 2, 3$ );  $AU-4 = VC-4 + AU\_PTR$ .

Один или несколько субблоков, занимающих определенные фиксированные позиции в нагрузке виртуального контейнера высшего порядка, называются *группой субблоков* TUG (Tributary Unit Group). Группы определены так, чтобы получить возможность образования смешанной нагрузки из субблоков разных уровней для увеличения гибкости транспортной сети.

Один или несколько административных блоков, занимающих определенные фиксированные позиции в нагрузке STM, называются *группой административных блоков* AUG (Administrative Unit Group). В европейской схеме преобразований (см. Рис. 6.36) она состоит из одного AU-4.

Наконец, синхронный транспортный модуль STM-1 образуется добавлением к группе административных блоков AUG *секционного заголовка* SOH (Section OverHead), который состоит из заголовков *мультиплексной* MSOH (Multiplexer Section OverHead) и *регенерационной секций* RSOH (Regenerator Section OverHead). Эти заголовки служат для контроля, управления и ряда других функций. При этом RSOH передается между соседними регенераторами, а MSOH - между пунктами, где формируются и расформируются STM, проходя регенераторы транзитом. Таким образом,  $STM-1 = AUG + SOH$ , где  $SOH = RSOH + MSOH$ .

Каждая из описанных выше информационных структур служит для транспортирования информации на определенном слое сети СЦИ или для согласования между собой двух

смежных слоев. Соответствие между слоями или межслоевыми взаимодействиями и информационными структурами показано в Табл. 6.6.

Табл. 6.6

Слои		Информационные структуры
Каналы		
		Контейнеры С
	Низшего порядка	Виртуальные контейнеры VC-12, VC-2
Тракты		Субблоки TU и их рабочие группы TUG
	Высшего порядка	Виртуальные контейнеры VC-3, VC-4
		Административный блок AU
Среда	Секции	Синхронные транспортные модули STM
передачи	Физическая среда	

#### 6.3.4.3.2.3. Преобразовательные процедуры

Преобразовательные процедуры СЦИ разделяются на три категории. На Рис. 6.35 и Рис. 6.36 им соответствуют различные линии.

Поступающие цифровые потоки *размещаются* на определенных позициях циклов виртуальных контейнеров. Учитывая широкое и разнообразное использование в современных сетях связи потока в 2 Мбит/с, предусмотрены различные варианты его размещения в контейнере С-12. *Асинхронное размещение* может применяться на первых этапах развертывания СЦИ при работе синхронных участков в плезиохронном окружении. При создании синхронных зон целесообразно *синхронное размещение*, имеющее две разновидности. *Байт-синхронное размещение* представляет доступ к составляющим каналам в 64 кбит/с, т.к. при этом октеты (байты) потока 2 Мбит/с совпадают с байтами контейнера. *Бит-синхронное размещение* применяется для сигналов, не имеющих октетной структуры.

Как уже указывалось, добавляемые к виртуальным контейнерам при формировании субблоков и административных блоков указатели позволяют динамично компенсировать изменения скорости и фазы нагрузки блоков. Соответствующая процедура названа *выравниванием*.

Наконец, *мультиплексирование* позволяет согласовать несколько сигналов слоя трактов низшего порядка с трактом высшего порядка или несколько сигналов тракта высшего порядка с мультиплексной секцией. Числа, стоящие вместе со знаком умножения, указывают количество объединяемых потоков.

Например, для потока в 2 Мбит/с вся цепочка преобразований в соответствии со схемой Рис. 6.36 представлена на Рис. 6.37.

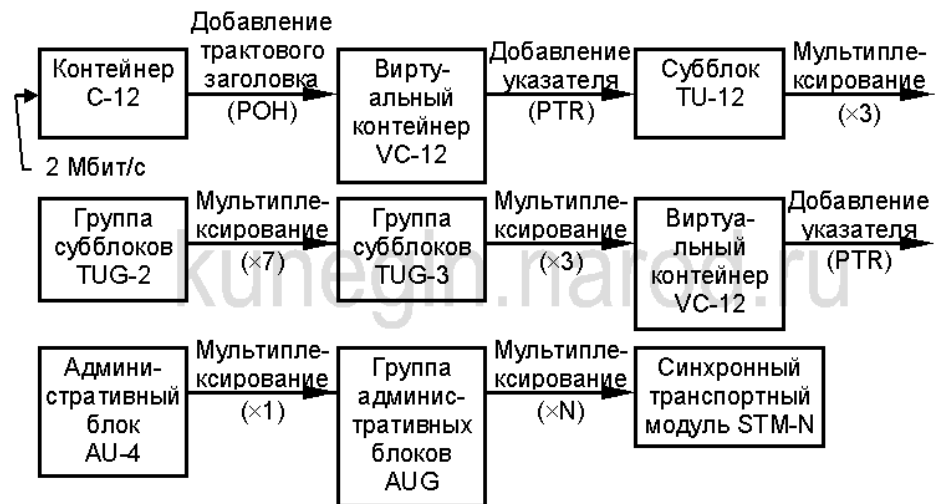


Рис. 6.37. Цепочка преобразований для потока 2 Мбит/с

#### 6.3.4.3.2.4. Форматы циклов

Циклы основных информационных структур СЦИ принято изображать графически в виде прямоугольных таблиц. Каждая клеточка такой таблицы соответствует байту. Порядок передачи байтов - слева направо, сверху вниз (так же, как при чтении текста на странице). Первый байт цикла размещается в левом верхнем углу таблицы, последний - в правом нижнем.

На Рис. 6.38 изображен цикл STM-1. Он имеет период повторения 125 мкс. Таблица имеет 9 рядов и 270 столбцов. Таким образом, каждая клеточка соответствует скорости передачи  $8 \text{ бит}/125 \text{ мкс} = 64000 \text{ бит/с} = 64 \text{ кбит/с}$ , а вся таблица -  $9 \times 270 \times 64 \text{ кбит/с} = 155520 \text{ кбит/с}$ .

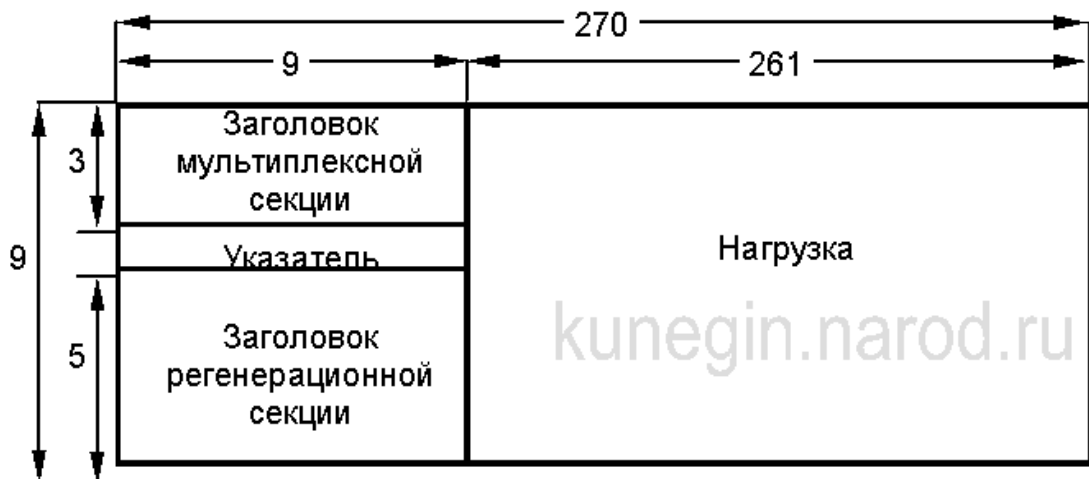


Рис. 6.38. Формат цикла STM-1

Первые 9 столбцов цикла отведены для служебных сигналов. Ряды с 1-го по 3-й занимает заголовок регенерационной секции RSOH, ряды с 5-го по 9-й - заголовок мультиплексной секции MSOH, 4-й ряд несет указатели административных блоков. Остальные  $261=270-9$  столбцов цикла предназначены для информационной нагрузки.

В качестве информационной нагрузки для STM-1 может выступать, например, виртуальный контейнер VC-4. Ему соответствует таблица  $9 \times 261$  (см. Рис. 6.39). Первый столбец цикла VC-4 занимает трактовый заголовок РОН, остальные - контейнер С-4, в котором размещается сигнал ПЦИ 140 Мбит/с. Пример использования указателей приведен на Рис. 6.40.

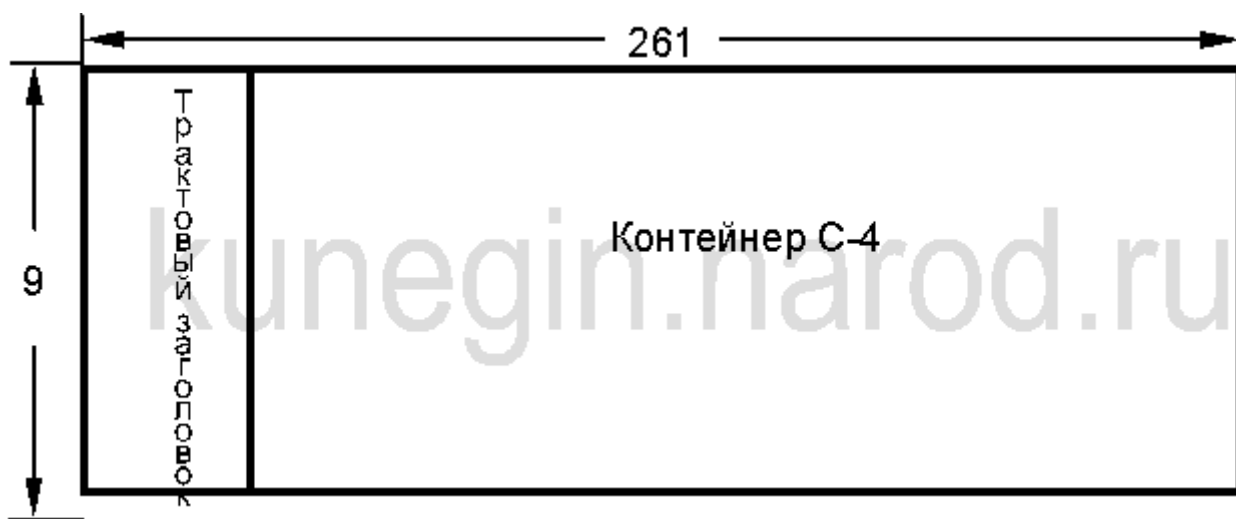


Рис. 6.39. Формат цикла VC-4



Рис. 6.40. Использование указателей. Цикл потока 140 Мбит/с размещается в двух смежных STM-1

#### 6.3.4.3.2.5. Синхронизация

Система *синхронизации* сетей СЦИ строится по иерархическому принципу. *Верхний* уровень иерархии занимает *первичный эталонный задающий генератор* (ЗГ), который вырабатывает хронизирующий сигнал с долговременным отклонением частоты не более, чем  $1 \times 10^{-11}$ . От него производится принудительная синхронизация всех остальных (*ведомых*) ЗГ. Синхронизация производится передачей хронизирующего сигнала от одного

ЗГ к следующему. Таким образом образуется иерархия ЗГ, в которых одни из них являются ведомыми по отношению к ЗГ более высоких порядков и, в свою очередь, играют роль головных (ведущих) ЗГ для ЗГ более низкого порядка. *Нижний* уровень иерархии образуют ЗГ оборудования СЦИ.

Хронирующие сигналы передаются по так называемым *синхротрассам*, в качестве которых используются линейные тракты STM-N. На участках с системами ПЦИ синхронизируются сигналы 2 Мбит/с, которые также используются в качестве синхротрасс.

Для обеспечения высоконадежной работы системы синхронизации принимается целый ряд специальных мер. Первичный ЗГ обязательно резервируется. Как правило, резервируется и ЗГ, встроенные в оборудование СЦИ. Для передачи хронирующих сигналов используется несколько географически разнесенных синхротрасс. В качестве резервных могут использоваться радиолинии.

Оборудование СЦИ имеет возможность принимать хронирующие сигналы от нескольких источников, для которых задается приоритет использования. Имеется также несколько выходов синхронизации для других сетевых элементов.

В случае потери хронирующих сигналов от ведущего ЗГ ведомый ЗГ переходит в режим удержания частоты, что соответствует переходу данного участка сети в плезиохронный режим, который может использоваться в сети СЦИ в качестве аварийного. При этом качество работы может снижаться.

#### **6.3.4.4. Аппаратура СЦИ**

##### ***6.3.4.4.1. Общие положения***

В настоящее время различная аппаратура СЦИ выпускается целым рядом ведущих фирм: Lucent (бывшая AT&T), Alcatel, Siemens, Philips, Ericsson, GPT, Nokia и др. В данном подразделе содержатся ее общие характеристики и принципы использования для построения сетей связи.

Важной особенностью аппаратуры СЦИ, отличающей ее от аппаратуры предшествующих поколений, является отсутствие жесткого разделения на аппаратуру линейного тракта, преобразовательную, аппаратуру оперативного переключения, контроля и управления. Все эти средства *интегрированы*. Аппаратура СЦИ является программно управляемой, что обеспечивает гибкость, упрощает эксплуатацию и развитие сетей.

Для обеспечения высокой надежности в аппаратуре СЦИ используются различные виды *резервирования*. Как правило, блоки питания и другие важнейшие узлы дублируются. Для менее важных блоков возможна установка одного резервного блока на несколько однотипных основных. В результате коэффициент простоя аппаратуры СЦИ в расчете на одно соединение имеет порядок  $10^{-5}$ .

Возможности аппаратуры СЦИ позволяют строить надежные и живучие сети, организуя резервирование на сетевом уровне. Более подробно это будет рассмотрено ниже.

##### ***6.3.4.4.2. Синхронные мультиплексоры***



*Синхронные мультиплексоры* заменяют целый набор оборудования ПЦИ. Они не только осуществляют мультиплексирование всех уровней, но и выполняют функции оборудования линейного тракта.

На вход синхронного мультиплексора могут поступать сигналы ПЦИ и СЦИ (электрические или оптические). Существуют мультиплексоры непосредственно воспринимающие каналы 64 кбит/с, 1,5 Мбит/с, 2 Мбит/с, 6 Мбит/с, 34 Мбит/с, 45 Мбит/с, 140 Мбит/с, а также имеющие интерфейсы для подключения локальных сетей (LAN, MAN), ISDN, В-ISDN и для работы в режиме АТМ. Сказанное не означает, что реальные типы аппаратуры содержат все перечисленные интерфейсы. Каждый конкретный мультиплексор имеет только небольшую часть из указанных возможностей.

На *агрегатной (линейной)* стороне может осуществляться передача на скоростях 155 Мбит/с (STM-1), 622 Мбит/с (STM-4) или 2,5 Гбит/с (STM-16). Наличие *двух* агрегатных оптических портов позволяет строить с помощью мультиплексоров такие конфигурации, как "кольцо", "цепочка", а также осуществлять резервирование потоков. Многие типы мультиплексоров могут иметь для целей резервирования и четыре оптических порта.

Ниже представлены основные конфигурации, которые строятся на основе мультиплексоров.

"Цепочка ввода-вывода" (Рис. 6.41). В этой конфигурации два мультиплексора являются оконечными, а все промежуточные - мультиплексорами ввода-вывода (МВВ). Каждый из МВВ может ввести, вывести или проключить транзитом любой из потоков нагрузки. Например, МВВ 1-го уровня СЦИ может иметь до 63 портов нагрузки для потоков 2 Мбит/с и вводить-выводить от 1 до 63 таких потоков.



Рис. 6.41. Цепочка ввода-вывода

"Точка-точка" (Рис. 6.42). В этом случае мультиплексоры используются как оконечные. Передача может осуществляться по двум кабелям, один из которых является основным, а второй - резервным, что обеспечивает защиту от обрыва кабеля или отказа оборудования.

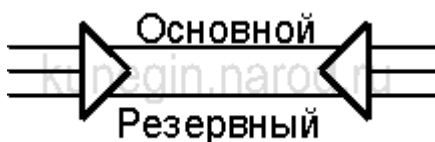


Рис. 6.42. Точка-точка

Недостатком данных конфигураций является отсутствие резервирования. Для его преодоления служит конфигурация "кольцо" (Рис. 6.43). В этом случае несколько МВВ соединены в кольцо. Подобная конфигурация является одной из основных при построении сетей СЦИ и будет детально рассмотрена ниже.

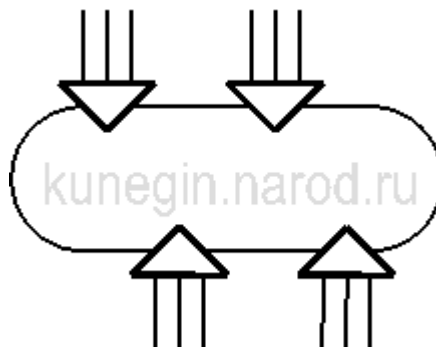


Рис. 6.43. Кольцо

Также мультиплексор может применяться в роли *концентратора* и в этом случае принимает несколько частично заполненных синхронных потоков (по оптическим или электрическим интерфейсам) и объединяет их в один агрегатный поток. Возможна конфигурация, совмещающая функции концентратора и МВВ.

#### 6.3.4.4.3. Аппаратура оперативного переключения

Под *оперативным переключением* понимается установление полупостоянных соединений между различными каналами и трактами. Следует подчеркнуть разницу между оперативным переключением и коммутацией. При коммутации устанавливаются временные соединения на вторичной сети, причем осуществляется это под управлением абонентов сети. Полупостоянные соединения при оперативных переключениях устанавливаются на первичной сети по командам сетевого оператора с использованием средств сетевого управления.

На сети СЦИ выполнение функций по оперативному переключению может производиться с помощью *встроенных устройств*, имеющихся во многих видах аппаратуры. Именно с помощью подобных устройств осуществляются, например, различные переключения потоков в МВВ. Таким образом, функции оперативного переключения могут быть распределены по сети между многими сетевыми элементами.

Тем не менее, во многих случаях удобно иметь специальную *автономную аппаратуру оперативного переключения* (АОП) СЦИ. Такая аппаратура имеет гораздо больше портов, чем мультиплексоры (до нескольких сотен портов STM-1 или нескольких тысяч портов 2 Мбит/с). С помощью АОП могут создаваться сети, имеющие ячеистую (решетчатую) структуру. Выделяют несколько типов АОП, различающиеся тем, на каких уровнях виртуальных контейнеров осуществляется ввод и переключение потоков.

АОП типа 4/4 может обрабатывать сигналы всех уровней СЦИ, т.е. STM-1, STM-4 и STM-16 (155, 622 Мбит/с и 2,5 Гбит/с соответственно), а также плезиохронные сигналы 140 Мбит/с. Переключение производится на уровне VC-4.

АОП типа 4/1 имеет порты для синхронных сигналов STM-1 (иногда и STM-4) и плезиохронных сигналов 140 и 2 Мбит/с. Переключение производится на уровнях VC-4 и VC-1.

АОП типа 4/3/1 имеет кроме того порты для плезиохронных сигналов 34 Мбит/с, а переключение может производиться на уровнях VC-4, VC-3 и VC-1.

## 6.3.4.5. Архитектура сетей СЦИ

### 6.3.4.5.1. Общие положения

Согласно современным взглядам, принятым в большинстве развитых стран, реконструирующих свои сети связи на базе СЦИ, перспективная сеть должна иметь иерархическую трехуровневую архитектуру (Рис. 6.44). Такая архитектура позволяет наиболее рационально построить гибкую, надежную и экономичную сеть.

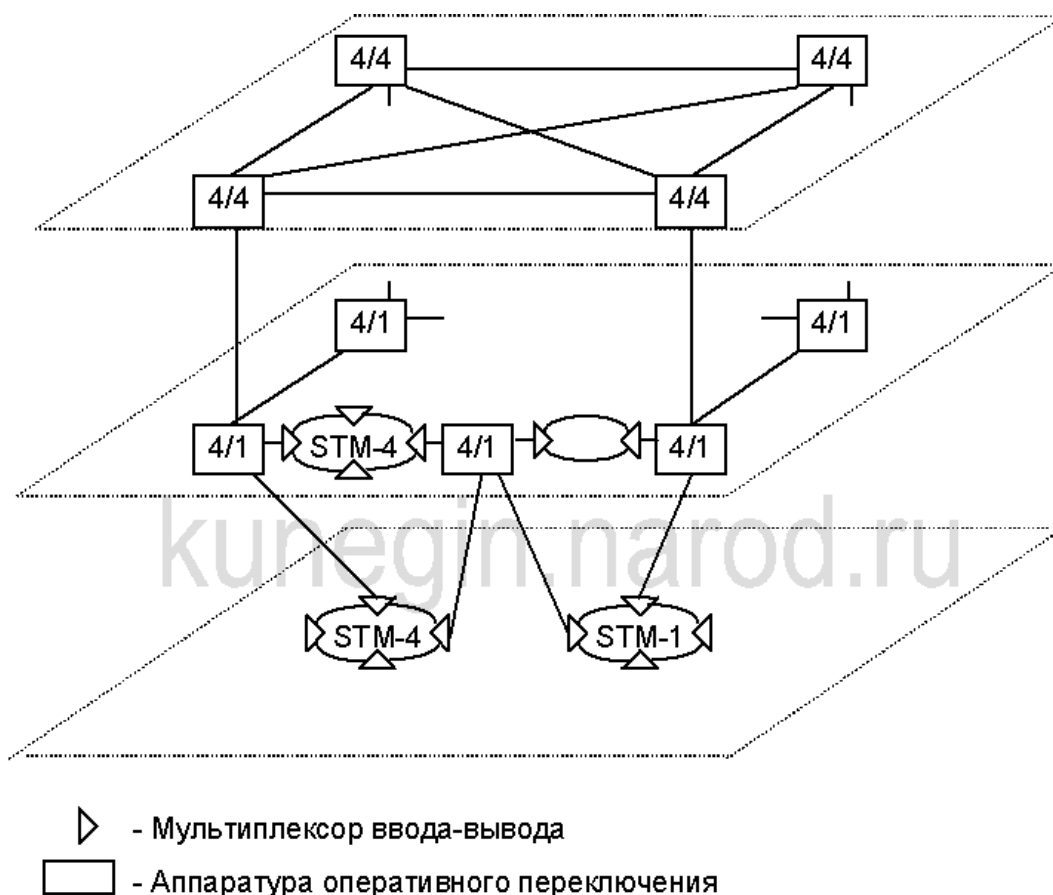


Рис. 6.44. Трехуровневая архитектура сети СЦИ

*Верхний* (базовый, магистральный) уровень образуется главными узлами, в которых устанавливается АОП 4/4. Основными единицами, которыми обмениваются эти узлы, служат виртуальные контейнеры VC-4. Каждая линия несет по несколько STM-4 или STM-16. Структура сети на этом уровне решетчатая.

*Средний* уровень состоит из нескольких соединительных (региональных) сетей, каждая из которых охватывает определенную территорию. Узлы этих сетей обмениваются не только VC-4, но и более мелкими единицами, например, VC-12. Поэтому в узлах используется АОП 4/1, а также МВВ. Важнейшие узлы этого уровня выходят на один или несколько узлов верхнего слоя. Структура соединительных сетей может быть и кольцевой, и решетчатой. В линиях организуются тракты STM-4.

*Нижний* уровень составляют сети доступа, куда и включаются основные источники и потребители нагрузки. Каждая из сетей доступа выходит на один или несколько узлов среднего уровня. Структура сетей кольцевая на основе МВВ, тракты STM-1 или STM-4.

В самых общих чертах можно охарактеризовать функции каждого уровня следующим образом: верхний уровень создает сеть трактов VC-4, средний - осуществляет перераспределение трактов VC-12 и VC-3 между VC-4, нижний - обеспечивает доступ к сети пользователей.

Преимуществами подобной иерархической архитектуры являются:

- возможность независимого развития и реконструкции каждого из уровней;
- концентрация потоков нагрузки, позволяющая использовать линейные тракты высокой пропускной способности, что дает экономию при построении сети;
- возможность осуществлять контроль, управление и резервирование отдельно на каждом уровне, что упрощает и ускоряет ликвидацию последствий отказов на сети.

Разумеется, описанная модель дает только общую схему, от которой возможны различные отступления. В каждом конкретном случае может быть изменены количество уровней, структуры сетей, функции уровней могут частично перекрываться и т.п. Типовыми структурами при построении сетей СЦИ являются *кольцевые* на базе МВВ и *решетчатые* на базе АОП.

Важным аспектом проектирования сетей СЦИ является обеспечение их надежности и живучести. Сама по себе аппаратура СЦИ, как уже указывалось выше, весьма надежна. Кроме того, встроенные средства контроля и управления облегчают и ускоряют обнаружение неисправностей и переключение на резерв.

Однако, преимущества СЦИ в части надежности и живучести не реализуются в полной мере сами по себе. Это объясняется тем, что ВОЛС обладают огромной пропускной способностью, и отказ даже одного участка может привести к разрыву связи для десятков тысяч пользователей и значительным экономическим потерям. Например, когда в начале 1991 года в США был случайно оборван один оптический кабель, обслуживающий Нью-Йорк, то 60% всех вызовов на городской сети оказались заблокированы на 8 часов, прекратилась работа товарных бирж, на 5 часов были выведены из строя средства управления воздушным движением в аэропортах Нью-Йорка, Вашингтона и Бостона.

Поэтому необходимо применять специальные меры по обеспечению отказоустойчивости сетей, закладывая резервные емкости и предусматривая алгоритмы реконфигурации сетей при отказах ее элементов. Целый ряд факторов облегчает принятие указанных мер: значительные емкости ВОЛС и снижение стоимости одного каналоклометра в них; наличие средств контроля и управления СЦИ; деление сети СЦИ на независимые функциональные слои; возможности интеллектуальных мультиплексоров и АОП.

Отмеченные обстоятельства привели к концепции построения так называемых самозалечивающихся сетей на основе СЦИ. Ее суть - создание сети, которая при выходе из строя отдельных элементов способна сохранять или автоматически восстанавливать в короткое время нарушенные связи без серьезных последствий для пользователей.

Простейшим способом самозалечивания является резервирование по схеме 1+1 при соединении "точка-точка" (см. Рис. 6.42). В этом случае два пункта соединяются между собой двумя кабелями по географически разнесенным трассам. Каждый сигнал передается одновременно по обоим трассам, а на приемном конце осуществляется автоматический контроль поступающих сигналов и выбор лучшего из них.

#### **6.3.4.5.2. Кольцевые сети**

Возможности МВВ позволяют организовывать кольцевые самозалечивающиеся сети.

Существуют два варианта их построения: *однаправленное* и *двунаправленное* кольцо.

При первом варианте каждый входной поток направляется вокруг кольца в обоих направлениях, а на приемной стороне, как и в случае схемы 1+1, осуществляется выбор лучшего сигнала. Для построения кольца используются два волокна. Передача по всем основным путям происходит в одном направлении (например, по часовой стрелке), а по всем резервным - в противоположном (деление на основной и резервный пути здесь является условным, так как они оба равноправны). Поэтому такое кольцо называется *однаправленным*, с переключением трактов или с закрепленным резервом.

Схема прохождения сигналов обоих направлений передачи для одного соединения по основному и резервному путям в таком кольце изображена на Рис. 6.45.



Рис. 6.45. Однонаправленное кольцо

В случае *двунаправленного* кольца с двумя волокнами удвоение сигнала не производится. При нормальной работе каждый входной поток направляется вдоль кольца по кратчайшему пути в любом направлении (отсюда и название "двунаправленное"). При возникновении отказа посредством МВВ на обоих концах отказавшего участка осуществляется переключение всего потока информации, поступавшего на этот участок, в обратном направлении. О таком кольце также говорят, что в нем осуществляется переключение секций или защита с совместно используемым резервом.

Пример двунаправленного кольца приведен на Рис. 6.46 и Рис. 6.47. На них показаны схемы прохождения сигналов обоих направлений передачи для одного соединения при нормальном режиме работы (Рис. 6.46) и в аварийном режиме при отказе одного из участков кольца, перечеркнутого крестом (Рис. 6.47).

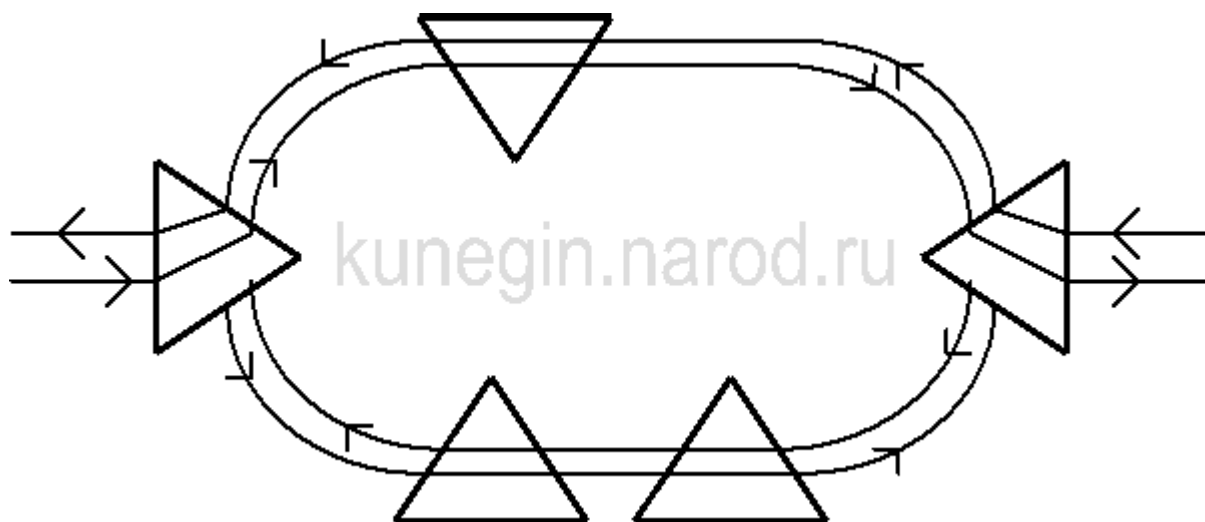


Рис. 6.46. Двухнаправленное кольцо в нормальном режиме

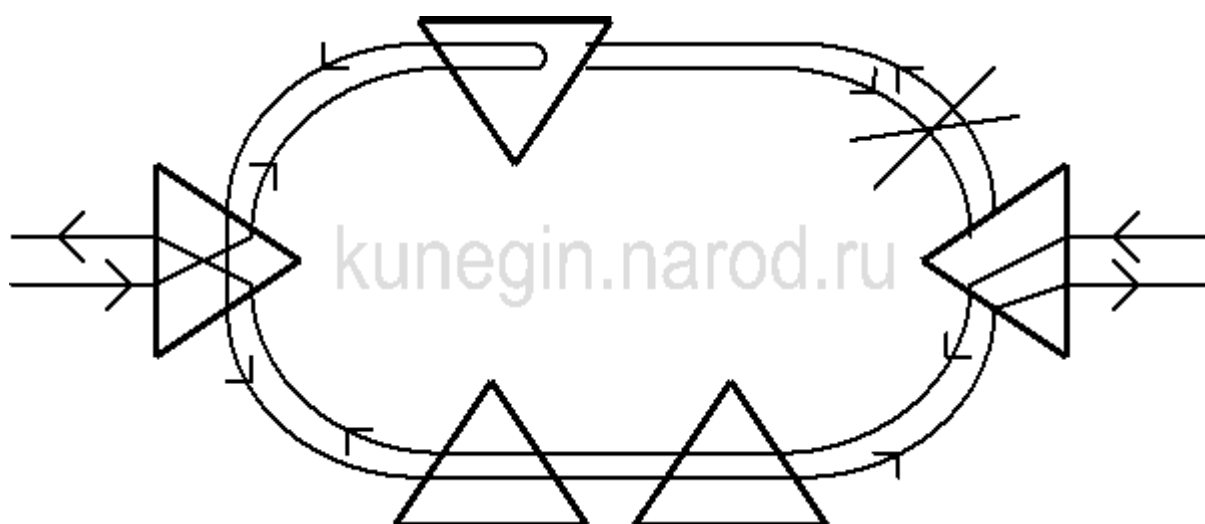


Рис. 6.47. Двухнаправленное кольцо в аварийном режиме

Возможно также двухнаправленное кольцо с четырьмя волокнами. Оно обеспечивает более высокий уровень отказоустойчивости, чем кольца с двумя волокнами, однако затраты на его построение существенно больше, поэтому такой вариант применяется реже.

Двухнаправленное кольцо в большинстве случаев оказывается более экономичным, требуя меньшую пропускную способность. Это объясняется тем, что сигналы, передаваемые на различных непересекающихся участках такого кольца, могут использовать одни и те же емкости (как в основном, так и в аварийном режимах работы). В то же время однонаправленное кольцо проще в реализации. Анализ типичных ситуаций показывает, что каждый из двух видов кольцевой архитектуры имеет свою область предпочтительного применения.

Однонаправленные кольца больше подходят для случаев центростремительного трафика. Это типично для сетей доступа, предназначенных для подключения пользователей к ближайшему узлу. Двухнаправленные кольца более выгодны при достаточно равномерном распределении трафика, при котором становится заметным их преимущество в пропускной способности. Поэтому их применение целесообразно для соединительных сетей.

При обоих вариантах возможно сохранение полной работоспособности сети при любом одиночном отказе.

### 6.3.4.5.3. Сети на основе АОП

Для сети с произвольной структурой, в узлах которой установлена АОП, в случаях возникновения на сети отказов, разрывающих имеющиеся тракты, возможно переключение потоков с использованием резервов пропускной способности работоспособных линий (реконфигурация).

На Рис. 6.48 показан пример фрагмента сети и схема прохождения трактов на нем при нормальном режиме работы. На Рис. 6.49 - тот же фрагмент после реконфигурации, вызванной отказом линии между узлами А и В.

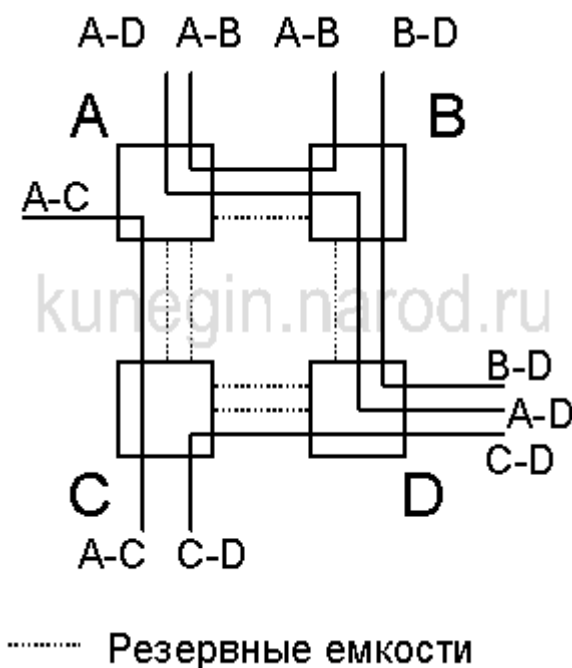


Рис. 6.48. Сеть на основе АОП в нормальном режиме

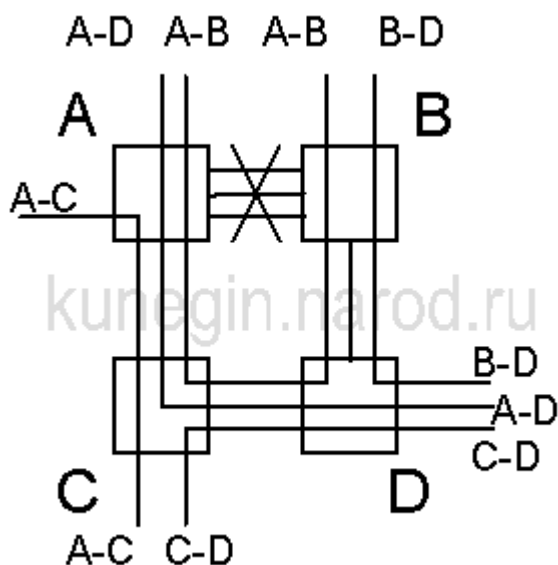


Рис. 6.49. Сеть на основе АОП в аварийном режиме

В сетях на основе АОП резервирование может осуществляться с использованием различных маршрутов, число которых тем больше, чем больше связность сети и чем больше резервы по пропускной способности. Поэтому в таких сетях возможна защита от одновременных отказов нескольких элементов, а не только от одиночных отказов, как в кольцевых сетях.

Самозалечивание на основе АОП имеет несколько вариантов организации. Во-первых, процедура реконфигурации может быть *централизованной* или *децентрализованной* (распределенной). В первом случае необходим сетевой центр управления, который собирает информацию о состоянии всех элементов сети, при необходимости принимает решение о реконфигурации и рассылает соответствующие команды на переключение всем АОП. Основное преимущество централизованного метода в том, что он более прост в реализации. Основной недостаток - критичность к отказам центра управления и к потере или искажению информации, поступающей в центр, и команд, идущих от центра к АОП.

Полностью распределенные процедуры не требуют наличия подобного центра. В этом случае при возникновении отказов на сети комплекты АОП различных узлов, обмениваясь между собой сообщениями, определяют состояние сети, вырабатывают согласованное решение по реконфигурации и реализуют принятое решение. Основной недостаток - гораздо большая сложность распределенных процедур, и как следствие - большие временные затраты на их выполнение.

Далее, выбор нового плана распределения потоков может осуществляться или путем обращения к *процедурам поиска* в ответ на изменение состояния сети в реальном масштабе времени, или на основании заранее рассчитанных и хранящихся в памяти процессоров центра управления или АОП *конфигурационных таблиц*.

В первом варианте в принципе может быть проанализирована любая ситуация на сети, однако здесь следует учитывать ограничение на время принятия решения. Во втором - возникает трудность, обусловленная тем, что общее число всех возможных состояний сети весьма велико. Поэтому иметь таблицу, охватывающую все множество состояний невозможно, так как ее хранение потребовало бы недостижимого на практике объема памяти, а время поиска в ней было бы недопустимо большим. В связи с этим приходится ограничиваться охватом некоторого подмножества состояний сети, размер которого выбирается с одной стороны, учитывая требования по отказоустойчивости, а с другой - исходя из реальных возможностей по объему памяти и быстродействию. Например, это подмножество может включать только состояния с одним отказавшим элементом, или все состояния с одним отказом и часть состояний с двумя и т.п.

Наконец, существуют *комбинированные* методы. Например возможен подход, при котором АОП всех узлов хранит конфигурационные таблицы, охватывающие некоторое подмножество возможных состояний сети. При отказах включается распределенная процедура определения состояния сети, после выполнения которой принимается решение о реконфигурации на основании имеющихся таблиц. Состояние всей сети контролируется также единым центром, который при необходимости обновляет конфигурационные таблицы и рассылает их всем узлам. В этом случае выход из строя центра управления не приведет к полной блокировке процедур самозалечивания, а может только снизить их эффективность.

#### **6.3.4.5.4. Комбинированные структуры**



Выше были описаны основные сетевые конфигурации и подходы к организации самозалечивания в них. Они могут применяться не только в чистом виде, но и в различных комбинациях. Как правило, построение реальных достаточно больших сетей будет требовать применения многих, если не всех, из рассмотренных методов. Это видно уже из схемы трехуровневой архитектуры сети (см. Рис. 6.44).

Резервирование по схеме 1+1 (см. Рис. 6.42) может использоваться на отдельных направлениях в сочетании с любой другой архитектурой. Подобное его применение оказывается оправданным, когда трафик на этих направлениях существенно больше, чем на остальных, а количество таких направлений невелико. Схема 1+1 может использоваться также на отдельных участках на первых этапах внедрения на сети СЦИ путем ее наложения на существующую асинхронную сеть до создания замкнутого кольца.

Весьма перспективным представляется построение сетей СЦИ в виде нескольких объединенных колец. Например, сеть может состоять из нескольких колец доступа, связанных посредством главного кольца. В связи с этим заслуживают внимания проблемы сопряжения и взаимодействия колец между собой. Возможны различные варианты их организации, использующие в узлах межкольцевой связи МВВ и АОП.

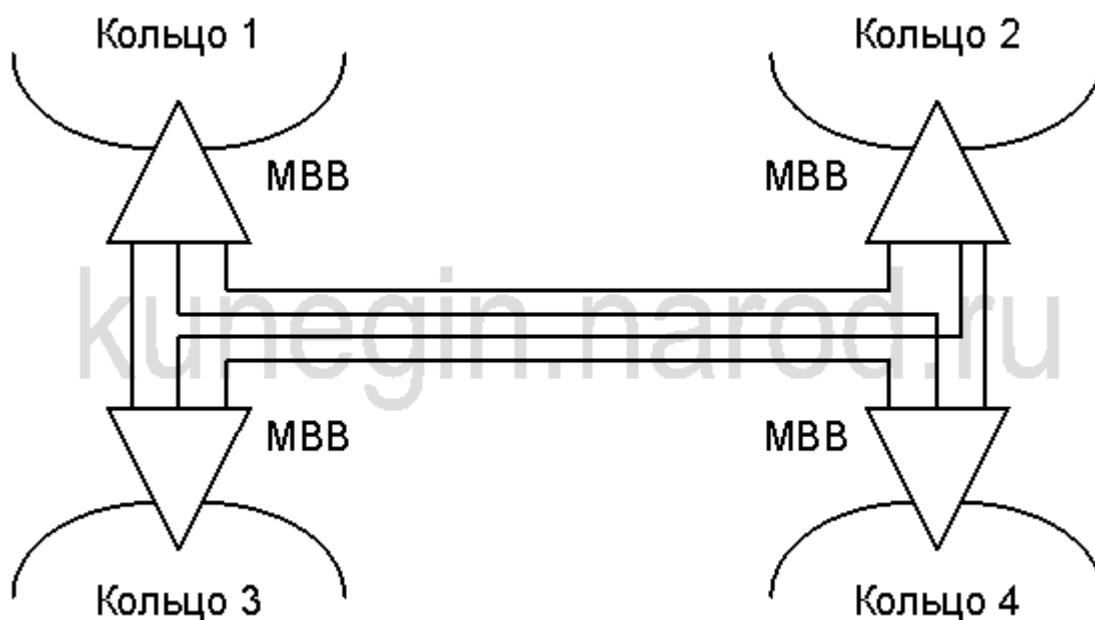


Рис. 6.50. Объединение колец посредством МВВ

Схема объединения колец посредством МВВ представлена на Рис. 6.50. При этом несколько МВВ образуют своего рода распределенный узел оперативного переключения. Такой вариант возможен, когда число колец невелико и потоки между ними небольшие.

Гораздо большие возможности предоставляет использование АОП (Рис. 6.51). При этом, как видно из рисунка, могут быть организованы и логические кольца, охватывающие различные цепочки МВВ.

Вообще применение смешанной архитектуры, использующей как кольцевые структуры, так и АОП, позволяет эффективно строить сети, обеспечивая тот же уровень отказоустойчивости, что и у чисто кольцевой сети, при меньшей суммарной пропускной способности всех линий.

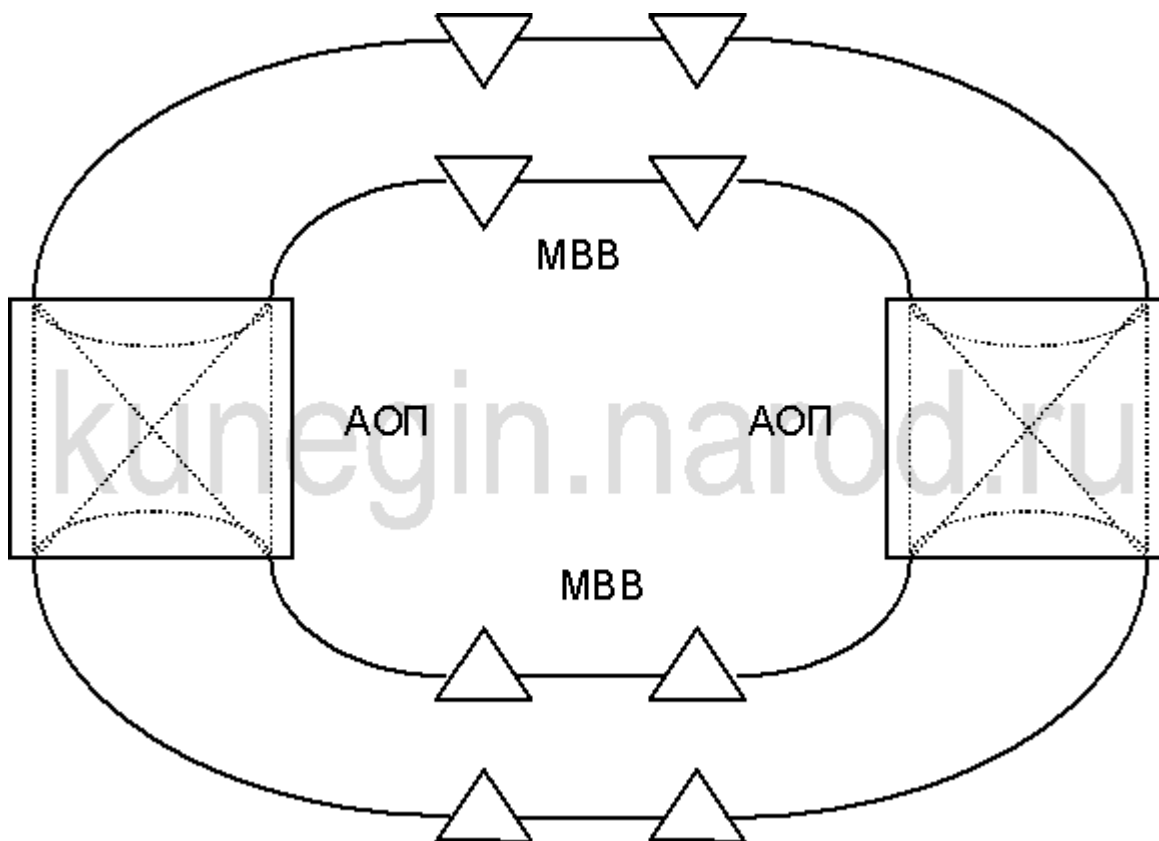


Рис. 6.51. Объединение колец посредством АОП

Наиболее прост и дешев вариант объединения колец, когда два смежных кольца имеют только один общий узел. Однако он обладает тем недостатком, что при выходе из строя этого узла связь между кольцами прерывается. Поэтому обычно рекомендуется применять для сопряжения колец два узла. Это обеспечивает устойчивость сети по отношению к одиночным отказам элементов.

В некоторых случаях требуется обеспечить возможность бесперебойной работы не только при любых одиночных отказах, но и при любом сочетании двух одновременно неработоспособных элементов в различных кольцах (по одному в каждом). Для этого каждый поток, направляемый в смежное кольцо, должен достигать обоих узлов сопряжения, а эти узлы оснащаются специальными устройствами для выбора и переключения сигналов.

Таким образом, выбор архитектуры сети требует детального анализа, учитывающего, в частности, размеры сети, требования по надежности и живучести, распределение тяготений между узлами и другие факторы.

#### 6.3.4.6. Примеры сетей СЦИ в России

Первая сеть СЦИ в России, функционирующая с августа 1992 года, была создана в Москве компанией "Макомнет".

Для прокладки оптических кабелей базовой сети "Макомнет" использованы тоннели Московского метрополитена. Общая протяженность проложенных кабелей превышает 400 км. Сеть имеет радиально-кольцевую структуру и состоит в настоящее время из 8 колец, в каждом из которых использовано оборудование СЦИ 1-го уровня (STM-1) фирмы Northern Telecom (Великобритания). Синхронные мультиплексоры типа TN-1X

установлены в станционных помещениях метрополитена и используют его источники энергоснабжения. Это мультиплексоры ввода-вывода, обладающие функциями оперативного переключения, образуют линейные тракты со скоростью передачи 155 Мбит/с и обрабатывают до 63 стандартных цифровых потоков по 2 Мбит/с. В настоящее время осуществляется переход на следующий уровень STM-4 (622 Мбит/с).

Аналогично сети "Макомнет" была создана сеть на базе метрополитена и в Санкт-Петербурге. Ее оператором является АО "Метроком". Она функционирует с июля 1994 года. Общая протяженность кабелей - 105 км.

Первой магистральной линией СЦИ в России является линия АО "Раском" между Москвой и Санкт-Петербургом. Ее длина 680 км. При этом оптический кабель подвешен на опорах контактной сети железной дороги. Сооружение этой магистрали заняло всего около четырех месяцев. На линии имеется 15 промежуточных пунктов, в которых установлены те же МВВ TN-1X. Они выполняют цифровую регенерацию линейного сигнала и ввод-вывод потоков по 2 Мбит/с.

Магистраль "Раском" вошла в строй в марте 1994 года и связала между собой сети "Макомнет" и "Метроком". Она может обслуживать пользователей не только в Москве и Санкт-Петербурге, но и в населенных пунктах, расположенных вдоль ее трассы в местах установки МВВ.

### Линейные коды

Двоичные коды строятся с использованием только двух элементов. В литературе встречаются различные условные обозначения символов двоичного кода. Наиболее употребительные из них рекомендованы МСЭ-Т и представлены в Табл. 6.7.

Табл. 6.7.

x1	1	+1	+	Z	Mark
x0	0	-1	-	A	Space

При реализации кодов необходимо представлять их символы в виде элементов дискретного сигнала той или иной формы, удобной для выполнения последующих операций и передачи по линиям связи.

Формы сигналов не обязательно жестко закрепляются за символами кода. Широко распространены правила *относительного* кодирования, когда один символ кода отображается чередованием форм, а второй - формой предыдущего элемента. Выбор формы сигнала самым непосредственным образом определяет: энергетический спектр (занимаемую полосу частот), возможности выделения сигналов синхронизации, скорость передачи в расчете на единицу полосы частот (удельную скорость передачи).

Формы цифровых сигналов, предназначенных для передачи по линии связи, получили наименование линейных кодов (ЛК). ЛК применяются для передачи данных без модуляции в первичной полосе частот, начинающейся с нуля. Иначе говоря, кадры цифровых систем передачи, сформированные в соответствии с правилами ПЦИ или СЦИ и представляющие собой обычные двоичные последовательности, перед подачей в линию связи подвергаются соответствующему преобразованию в линейном кодере.

Рассмотрим основные типы линейных кодов.

Код без возвращения к нулю - Non Return to Zero (NRZ) представляет собой обычную двоичную последовательность. В коде с возвращением к нулю - Return to Zero (RZ) единица передается импульсом вдвое меньшей длительности. Спектры простейших типов кодов обладают следующими недостатками: наличие постоянной составляющей; малая мощность тактовой частоты (частоты синхронизации); возможное наличие длинных последовательностей нулей. Код RZ требует более широкую полосу пропускания, чем NRZ, но имеет меньшее значение постоянной составляющей.

Широкое применение в системах передачи, предназначенных для работы по металлическим кабелям, нашли троичные коды. Их применение основано на возможности разнополярного подключения генератора ЭДС к нагрузке (металлическому кабелю).

Код с чередующейся полярностью импульсов (ЧПИ) - Alternate Mark Inversion (АМІ) - биполярный код, представляющий одну из разновидностей троичного кода: нулям соответствует отсутствие импульса, а единицам - попеременно чередующиеся прямоугольные импульсы отрицательной и положительной полярности. Так как постоянная составляющая импульсной последовательности равна нулю, то возможна передача по линиям, содержащим разделительные трансформаторы. Преимуществом данного кода является простота преобразования в двоичный код.

Модифицированный ЧПИ (МЧПИ) код строится следующим образом. В паузу, длина которой превышает  $n$  нулей, помещаются балластные сигналы. Широкое распространение получил код высокой плотности следования единиц КВП-3 - High-Density Bipolar (HDB-3), у которого  $n=3$ .

Основным требованием к линейным кодам волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) является использование только двух значащих уровней сигнала в связи с тем, что источник излучения (лазер или светодиод) работает в двух мощностных режимах - наличие или отсутствие излучения.

Применение непосредственно кодов NRZ и RZ в ВОСП ограничено. Больше распространение получили коды с корреляционными связями и, в частности, код СМІ или код с поочередной инверсией единиц. В коде СМІ нули передаются последовательно сменой нуля и единицы на одном тактовом интервале, а единицы - попеременным последовательным сочетанием двух нулей или двух единиц. В высокоскоростных системах применяется скремблированный сигнал в формате NRZ. Рассмотрим алгоритмы скремблирования подробнее.

Смысл скремблирования состоит в получении последовательности, в которой статистика появления нулей и единиц приближается к случайной, что позволяет удовлетворять требованиям надежного выделения тактовой частоты и постоянной, сосредоточенной в заданной области частот спектральной плотности мощности передаваемого сигнала.

Заметим, что скремблирование широко применяется во многих видах систем связи для улучшения статистических свойств сигнала. Обычно скремблирование осуществляется непосредственно перед модуляцией.

Скремблирование (от английского слова to scramble - перемешивать) производится на передающей стороне с помощью устройства - *скремблера*, реализующего логическую операцию суммирования по модулю 2 исходного и преобразующего псевдослучайного

двоичных сигналов. На приемной стороне осуществляется обратная операция - дескремблирование устройством, называемым *дескремблером*. Дескремблер выделяет из принятой исходную последовательность. Основной частью скремблера является генератор псевдослучайной последовательности (ПСП) в виде линейного  $n$ -каскадного регистра с обратными связями, формирующий последовательность максимальной длины  $2^n - 1$ .

Различают два основных типа скремблеров и дескремблеров - самосинхронизирующиеся (СС) и с установкой (аддитивные).

Особенностью скремблера СС (Рис. 6.52) является то, что он управляется скремблированной последовательностью, т.е. той, которая передается в канал. Поэтому при данном виде скремблирования не требуется специальной установки состояний скремблера и дескремблера; скремблированная последовательность записывается в регистры сдвига скремблера и дескремблера, устанавливая их в идентичное состояние. При потере синхронизма между скремблером и дескремблером время восстановления синхронизма не превышает числа тактов, равного числу ячеек регистра скремблера.

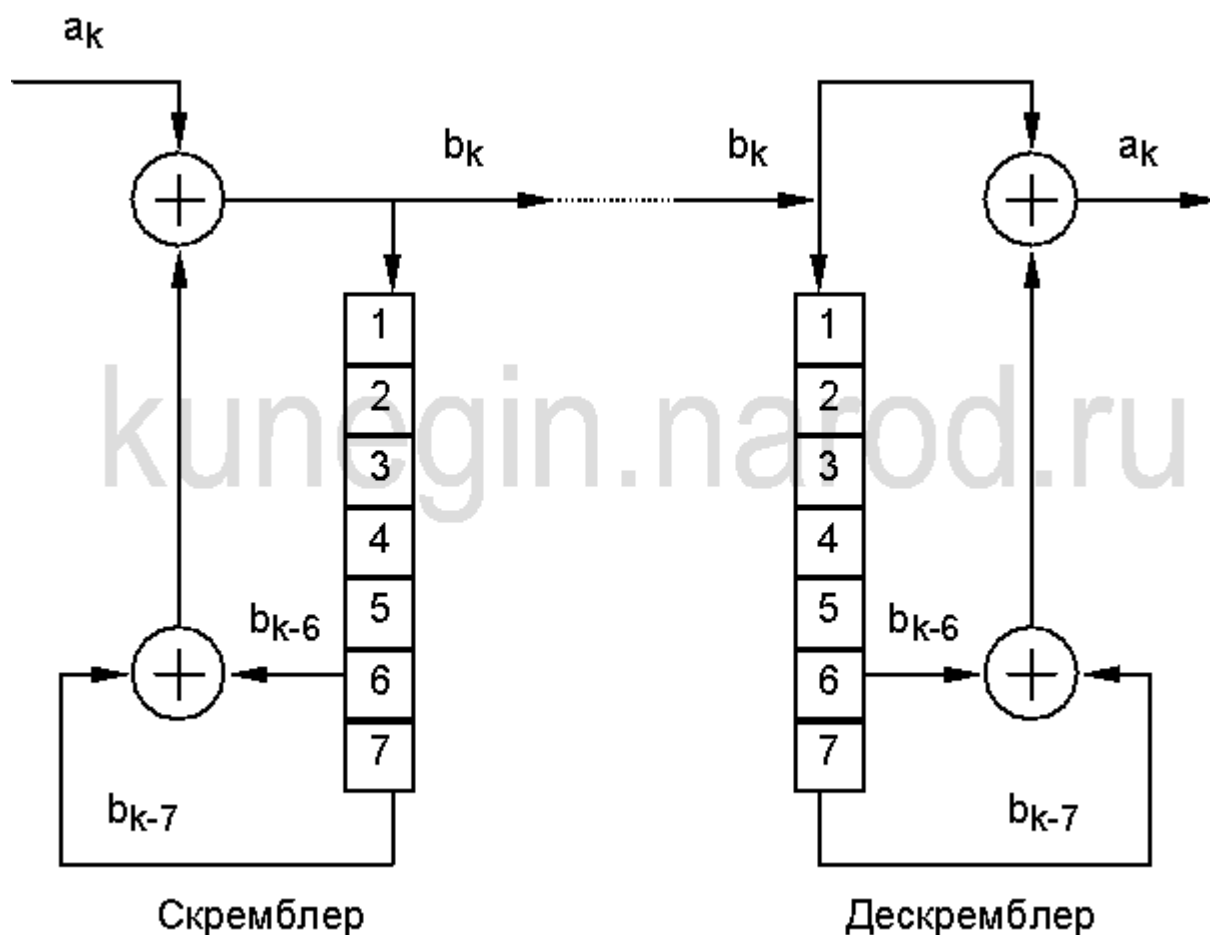


Рис. 6.52. Самосинхронизирующиеся скремблер и дескремблер

На приемном конце выделение исходной последовательности происходит путем сложения по модулю 2 принятой скремблированной последовательности с ПСП регистра. Например, для схемы Рис. 6.52 входная последовательность  $a_k$  с помощью скремблера в соответствии с соотношением  $b_k = a_k \oplus (b_{k-6} \oplus b_{k-7})$  преобразуется в посылаемую двоичную последовательность  $b_k$ . В приемнике из этой последовательности таким же регистром сдвига, как на приеме, формируется последовательность  $a_k = b_k \oplus (b_{k-6} \oplus b_{k-7})$ . Эта

последовательность на выходе дескремблера идентична первоначальной последовательности.

Как следует из принципа действия схемы, при одной ошибке в последовательности  $b_k$  ошибочными получаются также последующие шестой и седьмой символы (в данном примере). В общем случае влияние ошибочно принятого бита будет сказываться  $(a+1)$  раз, где  $a$  - число обратных связей. Таким образом, СС скремблер - дескремблер обладает свойством *размножения ошибок*. Данный недостаток СС скремблера - дескремблера ограничивает число обратных связей в регистре сдвига; практически это число не превышает  $a=2$ .

Второй недостаток СС скремблера связан с возможностью появления на его выходе при определенных условиях так называемых критических ситуаций, когда выходная последовательность приобретает периодический характер с периодом, *меньшим* длины ПСП. Чтобы предотвратить это, в скремблере и дескремблере согласно рекомендациям МСЭ-Т предусматриваются специальные дополнительные схемы контроля, которые выявляют наличие периодичности элементов на входе и нарушают ее.

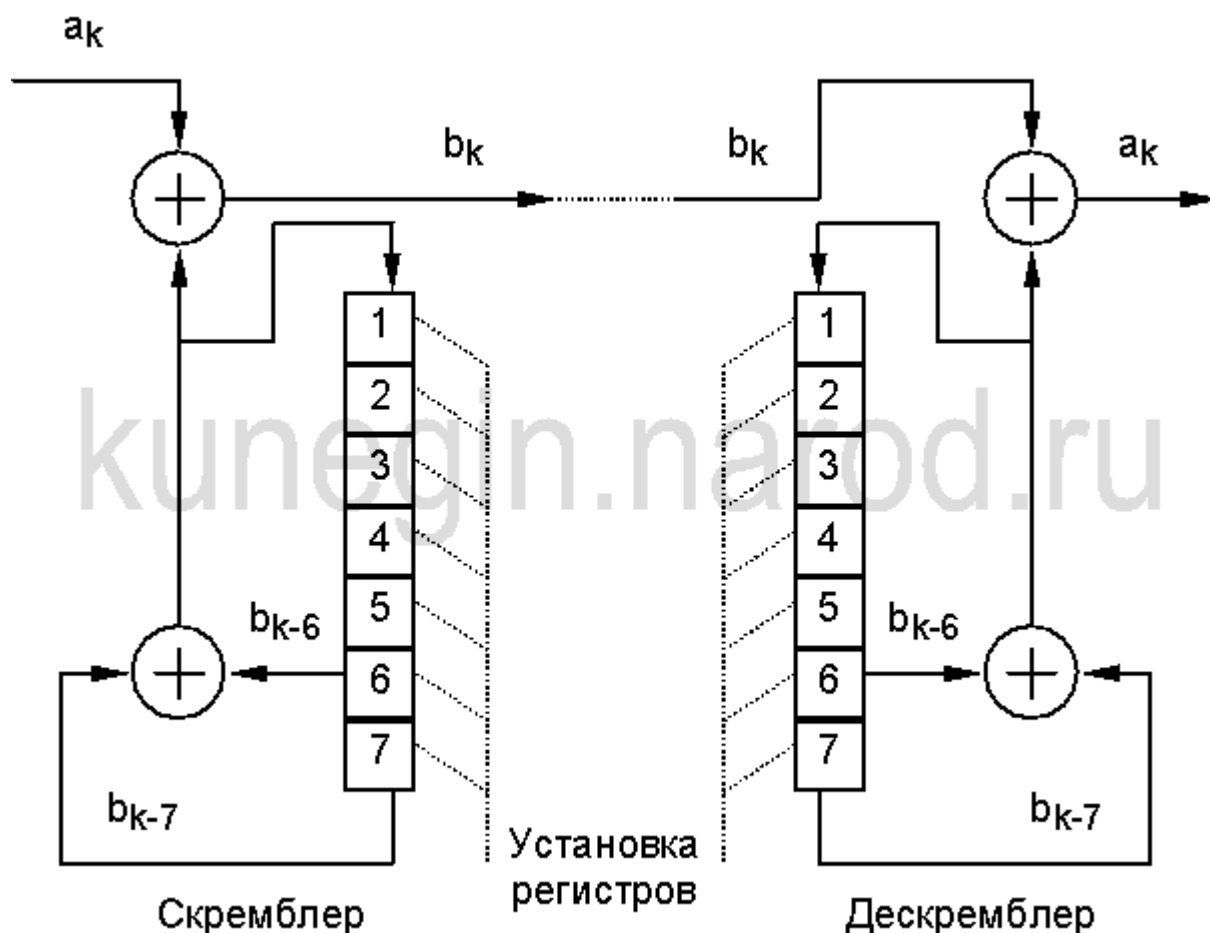


Рис. 6.50. Аддитивные скремблер и дескремблер

Недостатки, присущие СС скремблеру - дескремблеру, практически отсутствуют при аддитивном скремблировании (Рис. 6.53), однако, здесь требуется предварительная идентичная установка состояний регистров скремблера и дескремблера. В скремблере с установкой (АД-скремблере), как и в СС скремблере, производится суммирование входного сигнала и ПСП, но результирующий сигнал не поступает на вход регистра. В

дескремблере скремблированный сигнал также не проходит через регистр сдвига, поэтому размножения ошибок не происходит.

Суммируемые в скремблере последовательности независимы, поэтому их период всегда равен наименьшему общему краткому величин периодов входной последовательности и ПСП и критическое состояние отсутствует. Отсутствие эффекта размножения ошибок и необходимости в специальной логике защиты от нежелательных ситуаций делают способ аддитивного скремблирования предпочтительнее, если не учитывать затрат на решение задачи фазирования скремблера и дескремблер. В качестве сигнала установки в ЦСП используют сигнал цикловой синхронизации.

### 6.3.6.Интерфейс G.703

Основным стыком, используемым для взаимного подключения блоков и систем ЦСП, является интерфейс по рекомендации G.703 МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т G.703 "Физические и электрические характеристики интерфейсов цифровой иерархии" впервые была опубликована в 1972, доработана в 1984 и опубликована в окончательной редакции в 1988 году.

Формально данный стандарт основан на следующих рекомендациях МСЭ-Т: G.702 "Скорости передачи цифровой иерархии" (ПЦИ); G.704 "Структура синхронных кадров, основанных на первичном (1544 кбит/с) и вторичном (2048 кбит/с) уровнях"; I.430 "Основной интерфейс ISDN сети пользователя - первый уровень спецификации (протокол сигнализации D-канала)".

Интерфейс G.703 предназначен для обслуживания сетей с обеими цифровыми иерархиями - ПЦИ и СЦИ. Рассмотрим основные физические и электрические характеристики интерфейса, регламентируемые рекомендацией G.703:

1. Схема взаимодействия аппаратуры. Предусмотрены три схемы взаимодействия аппаратуры:

- Сонаправленный интерфейс (СНИ) (codirectional interface). Информационный и синхросигнал передаются от одного терминала к другому, причем терминалы равноправны и симметричны (Рис. 6.54);

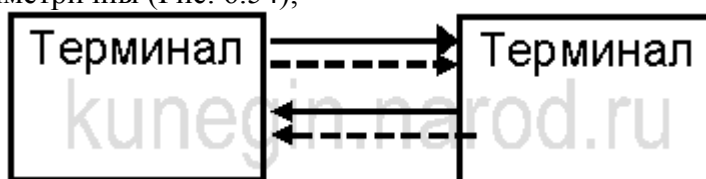


Рис. 6.54. Сонаправленный интерфейс

- Разнонаправленный интерфейс (РНИ) (contradirectional interface). Терминалы неравноправны. Синхросигнал передается от управляющего к управляемому. Информационные сигналы симметричны (Рис. 6.55).

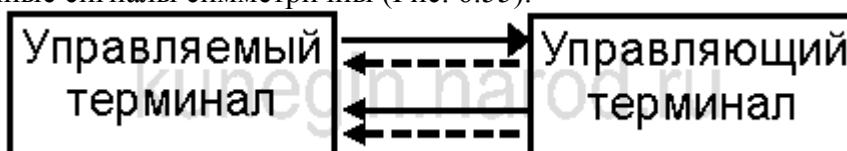


Рис. 6.55. Разнонаправленный интерфейс

- Интерфейс с центральным тактовым генератором (ЦГИ) (centralized clock interface). Синхросигналы поступают от центрального тактового генератора, информационные сигналы симметричны (Рис. 6.56).

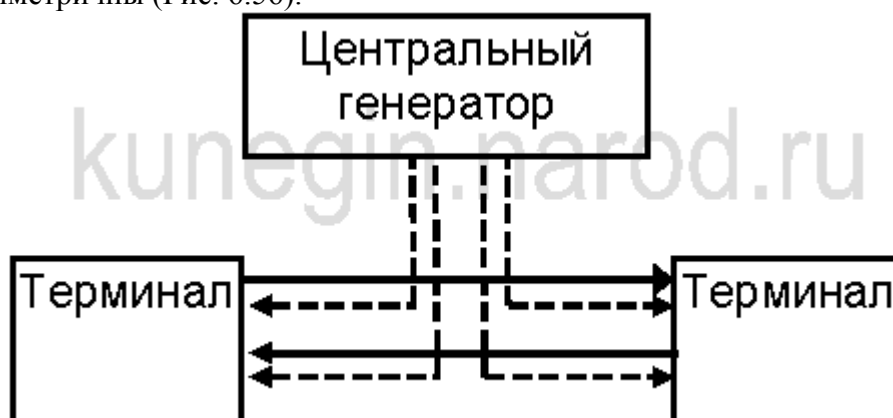


Рис. 6.56. Интерфейс с центральным тактовым генератором

2. Скорость передачи и частота синхронизирующего сигнала. Данные параметры в основном соответствуют ПЦИ. Синхросигнал может поступать от отдельного источника или формируется из информационного сигнала. Частота синхросигнала может совпадать со скоростью передачи или может быть в два, четыре или восемь раз меньше. Например, для скорости 64 кбит/с номинальной является тактовая частота 64 кГц, но может применяться и частота 8 кГц.

3. Тип кода и алгоритм его формирования. Зависит от скорости передачи и схемы взаимодействия. Виды используемых кодов:

- AMI (Alternate Mark Inversion code) - двоичный код с изменением полярности сигнала на каждой единице, ноль соответствует отсутствию сигнала.
- B3ZS (Bipolar with 3 Zero Substitution code) - биполярный код с подстановкой альтернативных блоков вместо блоков из трех нулей. Аналог кода HDB2.
- B8ZS (Bipolar with 8 Zero Substitution code) - биполярный код с подстановкой альтернативных блоков вместо блоков из восьми нулей.
- CMI (Coded Mark Inversion code) - двухуровневый двоичный код без возвращению к нулю с изменением полярности на полный интервал на каждой единице и в середине каждого интервала "0".
- HDB2 / HDB3 (High-Density Bipolar code of order 2/3) - двухполярный код высокой плотности единиц порядка 2 или 3.

Следует отметить, что указанные типы кодов относятся *только к интерфейсу*, а не к линии в целом. Если применяются кабели с металлическими проводниками, то коды могут совпадать. Для ВОЛС тип кода заменяют двухуровневым.

4. Форма (маска) импульса и соответствующие поля допуска. Специфицируются для каждой скорости передачи и схемы взаимодействия.

5. Тип используемой кабельной пары для каждого направления передачи. Обычно применяются КК, СК или их сочетание.

6. Волновое сопротивление.



7. Максимальное напряжение импульса, уровень сигнала в паузе, длительность импульса.

В Табл. 6.8 приведены основные параметры интерфейса для различных скоростей передачи.

Табл. 6.8

Скорость, кбит/с	64 СНИ	64 ЦГИ	64 РНИ	2048	8448	34368	139264
Тип кода	спец. код	AMI	AMI	HDB3	HDB3	СMI	AMI
Волн.сопр.Ом КК				75	75	75	75
СК	120	110	120	120			
Амплитуда сигнала, В	1	1,1 (3,4 при шуме)	1	2,37 - КК 3,0 - СК	1,02	1	± 0,55
Амплитуда в паузе, В	0,1	0,1 (0,5 при шуме)	0,1	0,237 - КК 0,3 - СК	0,237	0,1	± 0,05
Длительность импульса, нс	3900	15600 - данные 7800-такт	15600 - данные 7800-такт	244	59	14,55	3,59

Обычно производители цифровых систем передачи ограничиваются частичной реализацией интерфейса G.703, например, только скорости 2048 кбит/с в случае канала СЦИ со скоростью 2 Мбит/с. Для скорости 64 кбит/с часто указывается схема взаимодействия аппаратуры. Для сигналов со скоростями ряда  $n \times 64$  кбит/с, характерного для ISDN, передаваемых через оборудование европейской ПЦИ при  $n=2..31$ , интерфейс G.703 должен иметь те же физические и электрические характеристики, что и интерфейс для скорости 2048 кбит/с.

Аппаратура может не иметь интерфейса G.703. Для этих случаев используются конверторы с наиболее популярных типов интерфейсов V.24/RS232, V.35, V.36/V.11, X.21/V.11, RS-530.

### 6.3.7. Волоконно-оптические системы передачи и перспективы их развития

Волоконно-оптическими (ВОСП) называют системы передачи, использующие в качестве среды распространения сигнала *оптическое волокно*.

Первоначально развитие ВОСП шло в направлении создания оптоэлектронных элементов (источников и приемников оптического излучения) и оборудования данными элементами каналообразующего оборудования ЦСП ПЦИ. Развитие ЦСП и оптоэлектроники для применения в ЦСП шло, фактически, независимо. В качестве примера систем, построенных по такому принципу, можно привести ВОСП отечественного производства "Соната-2", "Сопка-2" и ИКМ-120-4/5 со скоростью передачи 8 Мбит/с; "Сопка-3", ИКМ-480-5 со скоростью передачи 34 Мбит/с; "Сопка-4М", "Сопка-5" со скоростью передачи 140 Мбит/с. Основным преимуществом ВОСП (наряду с указанными в подразделе 5.3) по сравнению с ЦСП, работающими по металлическому кабелю, явилось значительное увеличение длины участка регенерации (до нескольких десятков км).

Применение аналоговых систем передачи с ЧРК в ВОСП не нашло практического применения по следующей причине. Обеспечение требуемой помехозащищенности, особенно по допустимым нелинейным переходным помехам, достигалось бы при длинах усилительных участков (3..6 км), соизмеримых с длиной усилительного участка аналоговых систем передачи, предназначенных для работы по металлическим кабелям.

Появление синхронной цифровой иерархии (см. подраздел 6.3.4), специально разработанной с целью применения преимуществ ОВ, вывело развитие ВОСП на новый уровень.

Тем не менее развитие технологии ВОСП продолжается. Рассмотрим основные направления этого развития.

Идет совершенствование оптоэлектронных элементов и приемопередающего оборудования. За счет использования чувствительных фотоприемников и когерентных методов приема достигнута длина регенерационного участка более 400 км при использовании стандартного одномодового ОВ с коэффициентом затухания 0.22 дБ/км.

Спектральное уплотнение. Подавляющее большинство ВОСП использует одно ОВ для передачи излучения одной рабочей длины волны. Существенного увеличения суммарной емкости системы можно достичь передачей в одном волокне излучения нескольких рабочих длин волн.

Данная технология называется *спектральным уплотнением*, и, фактически, представляет собой реализацию на новом технологическом уровне принципа ЧРК. Основной сложностью в реализации спектрального уплотнения является создание оптического разветвителя на несколько входов/выходов с малыми потерями (затуханиями) при вводе/выводе оптического излучения. Широкое применение технологии спектрального уплотнения в настоящее время ограничено в виду относительно малой стоимости отдельного ОВ в оптическом кабеле и пока еще относительно малой потребности в очень высоких (сотни и тысячи Гбит/с) скоростях передачи.

В качестве примера реализации можно привести систему OLC фирмы Lucent: в третьем окне прозрачности 1,55 мкм (см. Рис. 5.10) передаются излучения восьми рабочих длин волн. Каждая оптическая несущая несет цифровой сигнал со скоростью 2,5 Гбит/с (сигнал

STM-16) и в результате скорость цифрового потока в одном волокне составляет более 20 Гбит/с. Японскими специалистами предложена система, работающая в том же окне прозрачности, но имеющая 132 оптических несущих, каждая из которых несет цифровой сигнал со скоростью 20 Гбит/с (сигнал STM-64). Скорость цифрового потока в одном волокне составляет более 2640 Гбит/с.

Существенное увеличение дальности связи (длины участков регенерации) при использовании ВОЛС достигается применением волоконных усилителей. Для реализации волоконных усилителей используются различные физические принципы. Широко распространены волоконные усилители, выполняемые на основе легированного эрбием ОВ. Данные усилители используют свойства редкоземельного элемента эрбия усиливать оптический сигнал. При введении излучения с длиной волны 980 нм в легированный эрбием отрезок волокна фотоны меняют состояние и генерируется излучение с длиной волны 1,55 мкм. Это излучение взаимодействует с рабочим излучением на той же длине волны, усиливая его. Высокомощный лазер с длиной волны 980 нм называется лазером накачки. Ввод излучения от лазера накачки в легированный эрбием отрезок волокна осуществляется с помощью специальных оптических разветвителей.

Подобные усилители могут использоваться в ВОСП со спектральным уплотнением. Одновременно усиливаются все спектральные компоненты, в отличие от традиционных систем, в которых каждый оптический сигнал обслуживается отдельным усилителем (регенератором).

Длина усилительного участка в подобных системах, например OLC фирмы Lucent, достигает 120 км. Допускается последовательное соединение трех усилительных участков до регенерации сигналов. Таким образом, длина участка регенерации может составлять 360 км.

## 6.4. Системы радиосвязи

### 6.4.1. Радиолинии и системы передачи сообщений с радиоканалами

В тех случаях, когда возникают трудности прокладки проводных линий связи, используются радиолинии. Принципиальное отличие радиосистем передачи информации заключается в том, что условия распространения радиоволн в радиолинии нестационарны, т.е. подвержены непрерывным изменениям, зависящим от времени и частоты. Однако, передача с помощью радиоволн в некоторых случаях является единственным методом связи (например, связь с подвижными объектами).

На ВСС применяются различные системы радиосвязи: радиорелейные прямой видимости и тропосферные, спутниковые, на декаметровых волнах, ионосферные и пр.

Для обеспечения *односторонней* радиосвязи (Рис. 6.57) в пункте, из которого ведется передача сигналов, размещают радиопередающее устройство, содержащее *радиопередатчик* РПер и *передающую антенну* АПер, а пункте, в котором ведется прием сигналов - радиоприемное устройство, содержащее *приемную антенну* АПр и *радиоприемник* РПр. Антенны подключаются к приемопередающему оборудованию при помощи *фидерных* трактов Ф. Для *двухстороннего* обмена сигналами нужно иметь два комплекта оборудования. Двухсторонняя радиосвязь может быть симплексной или дуплексной. При симплексной радиосвязи передача и прием ведутся поочередно. Радиопередатчики в конечных пунктах в этом случае могут работать на одинаковой

частоте, на эту же частоту настроены и радиоприемники. Радиопередатчик включается только на время передачи.

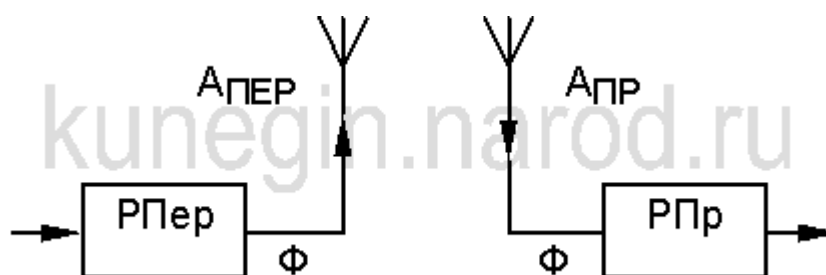


Рис. 6.57. Структура системы радиосвязи

При дуплексной радиосвязи передача осуществляется одновременно с приемом. Для связи должны быть выделены две разные частоты для передачи в разных направлениях. Радиопередатчики и радиоприемники абонентов включены в течение всего сеанса связи.

#### 6.4.2. Радиопередающие устройства

В функциональном смысле под радиопередающим устройством понимается комплекс оборудования, предназначенный для формирования и излучения радиочастотного сигнала (радиосигнала). В качестве функциональных узлов в состав радиопередатчика входят генератор несущей и модулятор. Как правило, генератор несущей и модулятор строятся по многокаскадной схеме. Кроме того, в состав радиопередающих устройств (особенно мощных) входит много другого оборудования: источники питания, средства охлаждения, автоматического и дистанционного управления, сигнализации, защиты и блокировки и пр.

*Основные показатели* радиопередающих устройств условно могут быть разделены на три группы: энергетические, показатели электромагнитной совместимости и качественные.

Важнейшими энергетическими показателями радиопередающего устройства являются номинальная мощность и промышленный коэффициент полезного действия. Под номинальной мощностью радиопередающего устройства  $P$  понимают среднее за период радиочастотного колебания значение энергии, подводимой к антенне. Промышленный коэффициент полезного действия КПД представляет собой отношение номинальной мощности  $P$  к общей  $P_{\text{Общ}}$ , потребляемой от сети переменного тока радиопередающим

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{Общ}}} \cdot 100\%$$

устройством

Основными показателями электромагнитной совместимости являются диапазон рабочих частот, нестабильность частоты колебаний и внеполосные излучения. Диапазоном рабочих частот называют полосу частот, в которой радиопередающее устройство обеспечивает работу в соответствии с требованиями стандарта. Под нестабильностью частоты радиопередатчика понимают отклонение частоты колебаний на его выходе за определенный промежуток времени относительно установленной частоты. Малая нестабильность (высокая стабильность) частоты позволяет ослабить помехи радиоприему. Внеполосными называют такие излучения, которые расположены вне полосы, отведенной для передачи полезных сообщений. Внеполосные излучения являются источником дополнительных помех радиоприему. В случае подавления внеполосных излучений качество передачи сигнала не ухудшается.

По назначению радиопередающие устройства делятся на связные, радиовещательные и телевизионные. По диапазону рабочих частот радиопередающие устройства подразделяются в соответствии с классификацией видов радиоволн. В зависимости от номинальной мощности радиопередающие устройства делятся на маломощные (до 100 Вт), средней мощности (от 100 до 10 000 Вт), мощные (от 10 до 500 кВт) и сверхмощные (свыше 500 кВт).

Специфика эксплуатации позволяет выделить стационарные и подвижные радиопередающие устройства (автомобильные, самолетные, носимые и т.д.).

### 6.4.3. Радиоприемные устройства

*Радиоприем* - это выделение сигналов из радиоизлучения. В том месте, где ведется радиоприем, одновременно существуют радиоизлучения от множества естественных и искусственных источников. Мощность полезного радиосигнала составляет очень малую долю мощности общего радиоизлучения в месте радиоприема. Задача радиоприемного устройства сводится к выделению полезного радиосигнала из множества других сигналов и возможных помех, а также к воспроизведению (восстановлению) передаваемого сообщения.

Основными (в смысле универсальности) *показателями* радиоприемных устройств являются диапазон рабочих частот, чувствительность, избирательность и помехоустойчивость.

Диапазон рабочих частот определяется диапазоном возможных частот настройки. Другими словами, это область частот настройки, в пределах которой радиоприемное устройство может плавно или скачкообразно перестраиваться с одной частоты на другую.

Чувствительность является мерой способности радиоприемного устройства обеспечивать прием слабых радиосигналов. Количественно оценивается минимальным значением ЭДС сигнала на входе радиоприемного устройства, при котором имеет место требуемое отношение сигнал-шум на выходе при отсутствии внешних помех.

Свойство радиоприемного устройства, позволяющее отличать полезный радиосигнал от радиопомехи по определенным признакам, свойственным радиосигналу, называется избирательностью. Иначе, это способность радиоприемного устройства выделять нужный радиосигнал из спектра электромагнитных колебаний в месте приема, снижая мешающие радиосигналы.

Различают пространственную и частотную избирательности. Пространственная избирательность достигается за счет использования антенны, обеспечивающей прием нужных радиосигналов с одного направления и ослабление радиосигналов с других направлений от посторонних источников. Частотная избирательность количественно характеризует способность радиоприемного устройства выделять из всех радиочастотных сигналов и радиопомех, действующих на его входе, сигнал, соответствующий частоте настройки радиоприемника.

Помехоустойчивостью радиоприемного устройства называется его способность противодействовать мешающему действию помех. Количественно помехоустойчивость оценивается тем максимальным значением уровня помехи в антенне, при котором еще обеспечивается прием радиосигналов.

Радиоприемные устройства можно классифицировать по различным признакам. Например, по схемным решениям радиоприемные устройства могут быть прямого усиления и супергетеродинные. По назначению можно выделить радиовещательные (обычно называемые как радиоприемники или приемники), телевизионные (телевизоры), профессиональные, специальные радиоприемные устройства. К профессиональным относятся магистральные радиоприемные устройства декаметрового диапазона, радиорелейных и спутниковых ЛС. Среди радиоприемных устройств специального назначения следует назвать, например, радиолокационные, радионавигационные, самолетные и т.д.

#### 6.4.4. Антенны и фидеры

Антенна представляет собой элемент сопряжения между передающим или приемным оборудованием и средой распространения радиоволн. Антенны, имеющие вид проводов или поверхностей, обеспечивают излучение электромагнитных колебаний при передаче, а при приеме они "собирают" падающую энергию.

Антенны, состоящие из проводов небольшого поперечного сечения по сравнению с длиной волны и продольными размерами, называют проволочными. Антенны, излучающие через свой раскрыв - апертуру, называют апертурными. Иногда их называют дифракционными, рефлекторными, зеркальными. Электрические токи таких антенн протекают по проводящим поверхностям, имеющим размеры, соизмеримые или много больше по сравнению с длиной волны.

Сравнивать и оценивать свойства антенн любых типов можно по их *параметрам*. Самым главным определяющим параметром *передающей антенны* как нагрузки для генератора или фидера является ее входное сопротивление. Параметром антенны как излучателя электромагнитных волн является коэффициент полезного действия, а также амплитудная характеристика направленности.

Входное сопротивление антенны определяется отношением напряжения высокой частоты на ее зажимах к току питания.

Не вся мощность, подводимая к антенне, излучается в окружающее пространство. Часть ее расходуется не на излучение, а теряется на нагревание как самой антенны, так и находящихся поблизости предметов. Отношение мощности, излученной антенной, к мощности, подводимой к ней, называют коэффициентом полезного действия антенны и

$$\eta = \frac{P_{изл}}{P_{под}} \cdot 100\%$$

выражают в процентах:

Электромагнитные волны излучаются антенной в различных направлениях неравномерно. Антенн, излучающих электромагнитные волны равномерно во все стороны, не существует. Распределение в пространстве напряженности электрического поля, созданного антенной, характеризуется амплитудной характеристикой направленности. Она определяется зависимостью амплитуды напряженности создаваемого антенной поля (или пропорциональной ей величины) от направления на точку наблюдения в пространстве. Направление на точку наблюдения определяется азимутальным  $\varphi$  и меридиональным  $\theta$  углами сферической системы координат, как показано на Рис. 6.58. При этом амплитуда напряженности электрического поля измеряется на одном и том же (достаточно большом) расстоянии  $r$  от антенны. Графическое изображение характеристики направленности называют диаграммой направленности.

Пространственная диаграмма направленности изображается в виде поверхности  $f(\varphi, \theta)$ . Построение такой диаграммы неудобно, поэтому на практике обычно строят диаграмму направленности в какой-нибудь одной плоскости, в которой она изображается плоской кривой  $f(\varphi)$  или  $f(\theta)$  в полярной или декартовой системе координат.

На Рис. 6.58 в начале координат показана простейшая проволочная антенна - диполь Герца, пространственная диаграмма направленности которой приведена на Рис. 6.59, а. Диаграммы направленности в азимутальной и меридиональной плоскостях, построенные в полярной системе координат, представлены на Рис. 6.59, б и в.

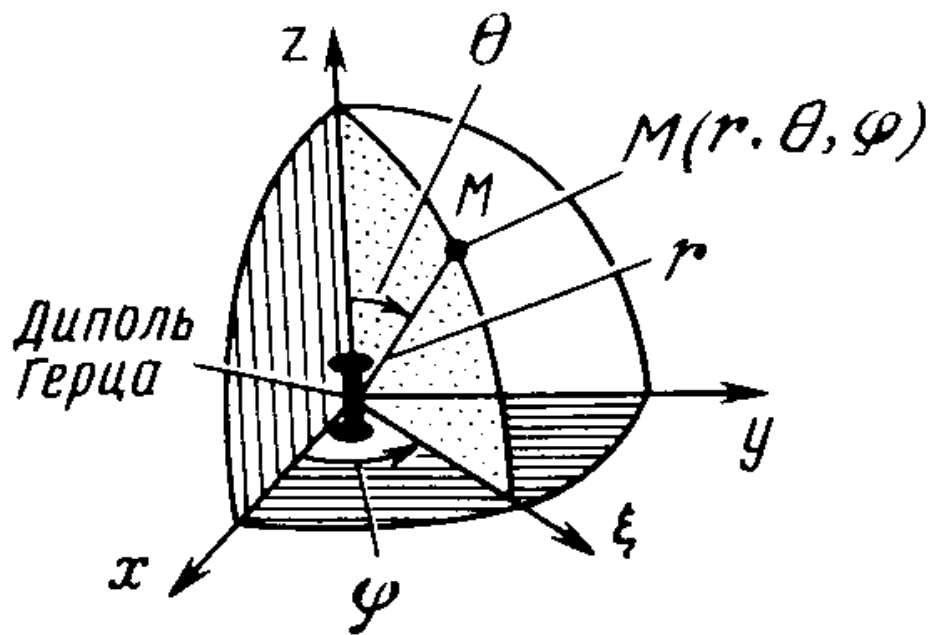


Рис. 6.58. Сферическая система координат

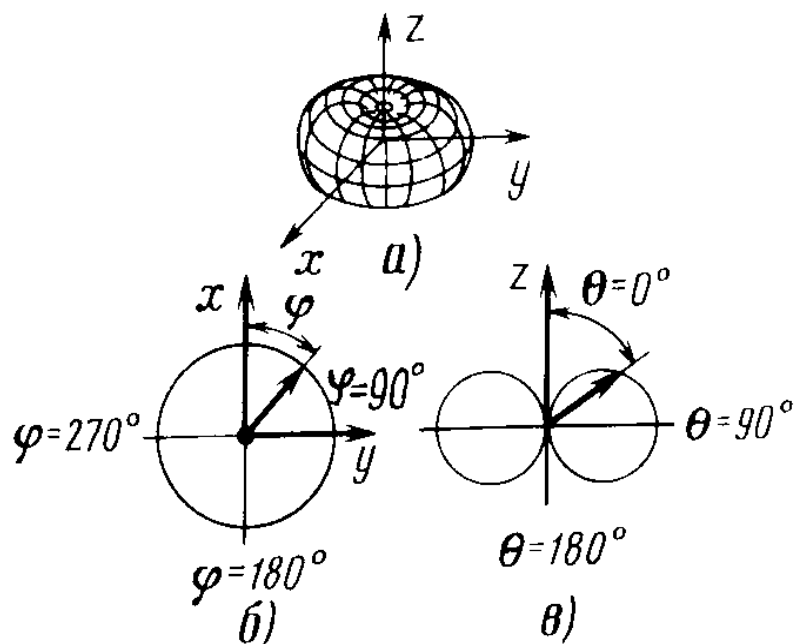


Рис. 6.59. Диаграммы направленности: а - объемная, б, в - в азимутальной и меридианальной плоскостях

Помимо рассмотренных основных электрических параметров антенн существует целый ряд дополнительных специфических параметров как электрических, так и экономических, конструктивных, эксплуатационных.

Что касается приемных антенн, то оказывается, что количественно электрические параметры передающих и приемных антенн одни и те же, хотя физическое объяснение дается с точки зрения приема.

*Приемная* антенна имеет такие же значения входного сопротивления, коэффициента полезного действия и такую же диаграмму направленности, какие она имела бы при работе в качестве передающей. Существенным различием в работе передающей и приемной антенн является то, что в передающей антенне используются большие токи и напряжения, а в приемной - очень незначительные.

Особенности передающих антенн различных диапазонов. Километровые и гектометровые радиоволны широко используются для организации сети звукового радиовещания. Передающие антенны, как правило, устанавливаются в центре зон обслуживания, и поэтому должны создавать ненаправленное излучение вдоль поверхности Земли, т.е. иметь диаграмму направленности в горизонтальной плоскости в виде окружности. Таким условиям отвечают антенны-мачты и антенны-башни. Их высота обычно 150...250 м, а некоторые антенны имеют высоту до 350 и даже 500 м.

Для радиосвязи и радиовещания на значительные расстояния (тысячи километров) используются декаметровые радиоволны. Особенности их распространения таковы, что антенны должны сформировывать направленное излучение с максимумом излучения под некоторым углом к поверхности Земли. Самыми распространенными типами передающих антенн, отвечающими этим требованиям, являются *проволочные* антенны: вибраторные, ромбические и



синфазные в виде решетки из вибраторов, возбужденных определенным образом. Простейшая из этих антенн - горизонтальный симметричный вибратор - показана на Рис. 6.60.

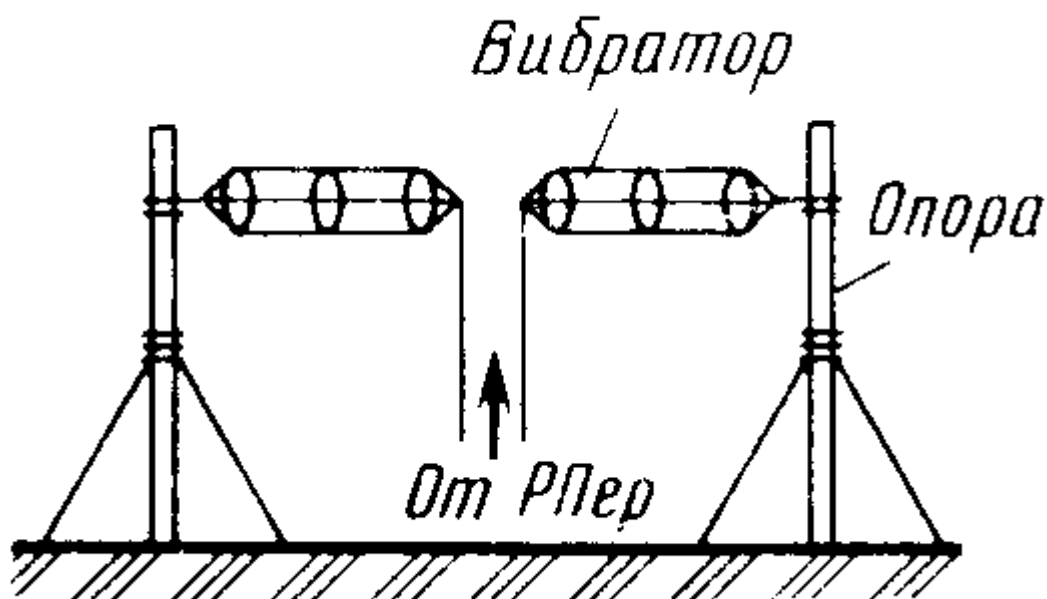


Рис. 6.60. Проволочная антенна - вибратор горизонтальный диапазонный

На местных радиолиниях протяженностью 50...100 км также используются в основном декаметровые радиоволны и простые антенны в виде вертикально подвешенного провода (Т- и Г-образные).

Диапазон метровых радиоволн используется главным образом для организации телевизионного и звукового вещания, а также для связи с подвижными объектами в пределах определенной зоны обслуживания. Передающие антенны, как правило, должны создавать ненаправленное излучение в горизонтальной плоскости.

Диапазоны дециметровых, сантиметровых и более коротких радиоволн применяются для организации радиорелейной связи. Антенны, устанавливаемые на радиорелейных линиях, должны обладать высокой направленностью, их диаграммы направленности должны иметь "игольчатую форму" (Рис. 6.61). Наиболее распространены апертурные (зеркальные) антенны. Схема простейшей из них - параболической антенны - приведена на Рис. 6.62. Особенность распространения метровых, дециметровых, сантиметровых и более коротких радиоволн такова, что антенны необходимо размещать на специальных опорах высотой десятки и даже сотни метров.

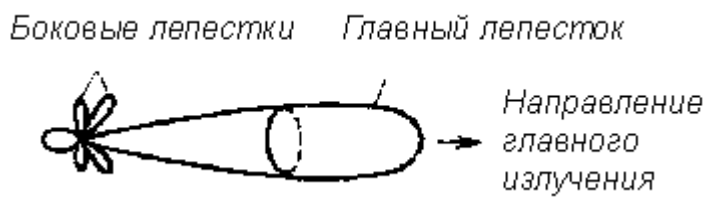


Рис. 6.61. Диаграмма направленности "игольчатой формы"

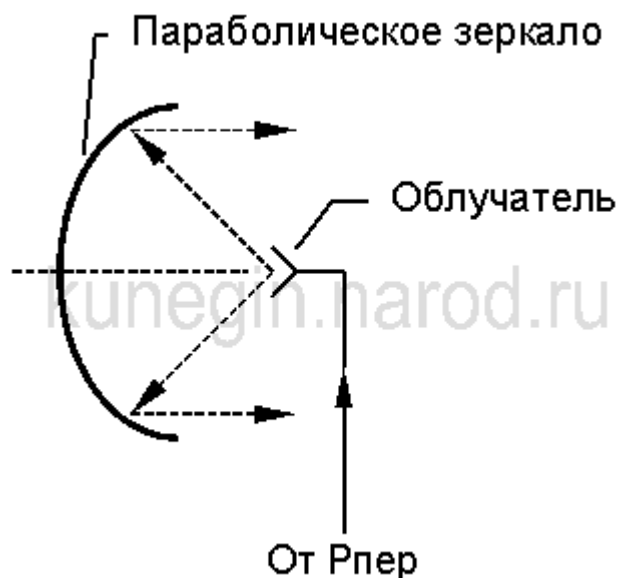


Рис. 6.62. Принцип построения однозеркальной параболической антенны

Особенности приемных антенн различных диапазонов. Антенна - устройство обратимое. Если антенна хорошо излучает радиоволны, то она хорошо их и принимает. Форма диаграммы направленности антенны не зависит от того, работает она на передачу или на прием. Содержание понятия "диаграмма направленности" для приемной антенны несколько отличается от приведенного выше для передающей антенны. Это график зависимости напряжения на входе радиоприемника от направления прихода принимаемой электромагнитной волны.

В качестве приемных антенн в километровом и гектометровом диапазонах используется рамочная антенна. В декаметровом диапазоне наиболее распространена антенна "бегущая волна". Антенна "волновой канал" является типичной для диапазона метровых волн, в частности для приема телевизионных сигналов. В диапазоне дециметровых и сантиметровых волн антенны являются обычно приемопередающими. Характерная схема одной из таких антенн показана на Рис. 6.62.

Электрическая цепь и вспомогательные устройства, с помощью которых энергия радиочастотного сигнала подводится от радиопередатчика к антенне или от антенны к радиоприемнику, называется фидером. Передающие антенны, используемые в километровом и гектометровом диапазонах радиоволн, соединяются с радиопередатчиком с помощью многопроводных коаксиальных фидеров. В декаметровом диапазоне фидеры обычно выполняются в виде проволочных двух- или четырехпроводных линий.

К антеннам метровых радиоволн энергия обычно подводится с помощью коаксиального кабеля. На более коротких волнах, в частности в сантиметровом диапазоне, фидер выполняется в виде полой металлической трубы - волновода прямоугольного, эллиптического или круглого сечения.

В связи с наблюдающейся тенденцией упрочнения передающих радиостанций, работающих в диапазонах километровых, гектометровых и декаметровых

радиоволн, очень важным представляются вопросы конструирования антенн и фидеров с повышенной электрической прочностью, т.е. разработка конструкций, способных работать со сверхмощными радиопередатчиками.

Значительный интерес представляет разработка устройств, обеспечивающих возможность подключения к одной антенне нескольких мощных радиопередатчиков, работающих на разных частотах.

Для радиоприема на дециметровых волнах перспективным представляется создание устройств, позволяющих управлять диаграммой направленности приемных антенн в соответствии с изменением направления угла прихода радиоволны. Следует ожидать, что в дальнейшем антенны с электрически управляемыми характеристиками займут доминирующее положение во многих областях антенной техники. Антенны радиорелейных линий совершенствуются в части увеличения концентрации энергии в главном направлении и снижения излучения в направлениях, несовпадающих с главным.

#### 6.4.5. Радиорелейные системы передачи

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

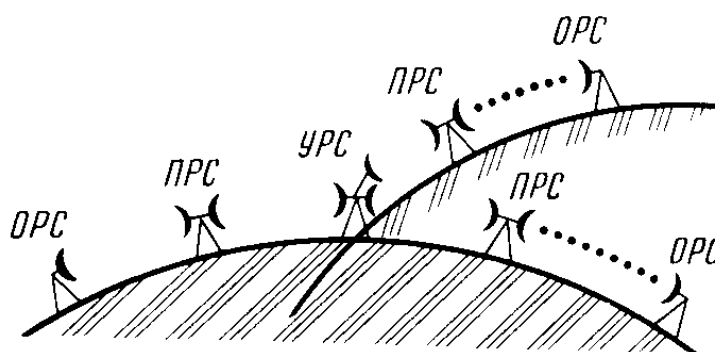


Рис. 6.63. Принцип радиорелейной связи

На частотах ОВЧ- и СВЧ-диапазона надежная связь с низким уровнем помех может быть получена только в условиях прямой видимости между антеннами, излучающими радиоволны. Расстояние между антеннами радиорелейных систем зависит от структуры земной поверхности и высоты антенн над ней. Типичные расстояния составляют 40 - 50 км при высотах башен и мачт, на которых устанавливаются антенны, около 100 м. Ограниченность расстояния прямой видимости не следует рассматривать как недостаток. Именно за счет невозможности свободного распространения радиоволн на большие расстояния устраняются взаимные помехи между радиорелейными системами передачи внутри одной страны и разных стран. Кроме того, в указанных диапазонах практически отсутствуют атмосферные и промышленные помехи.

Антенны могут работать в режиме передачи и приема для одновременной передачи в противоположных направлениях с использованием двух частот:  $f_1$  и  $f_2$ . При этом, если станция передает сигнал на частоте  $f_1$  и принимает на частоте  $f_2$ , то соседние с ней станции передают на частоте  $f_2$ , а принимают на частоте  $f_1$ . Эта пара частот, соответствующая двухчастотному плану частот МСЭ-Р, образует радиочастотный ствол.

Радиорелейные линии (РРЛ) занимают диапазоны ОВЧ и СВЧ, причем граница между аналоговыми и цифровыми радиорелейными системами (РРС) лежит вблизи частоты 11 ГГц.

Аналоговые РРС предназначены в основном для передачи многоканальных телефонных сигналов в аналоговой форме и сигналов данных с низкой и средней скоростью по каналам ТЧ, а также сигналов телевидения. Цифровые РРС используются для организации цифровых трактов со скоростями от 2 до 140 Мбит/с.

Большинство станций РРЛ составляют промежуточные радиостанции (ПРС), играющие роль активных ретрансляторов. На всех станциях РРЛ целесообразно иметь однотипную, унифицированную приемопередающую аппаратуру (ППА), удовлетворяющую требованиям заданного частотного плана.

Перспективным вариантом построения ППА является вариант с усилением на СВЧ и преобразованием частоты (Рис. 6.64). Недостатком подобной схемы является необходимость обработки сигнала на СВЧ.

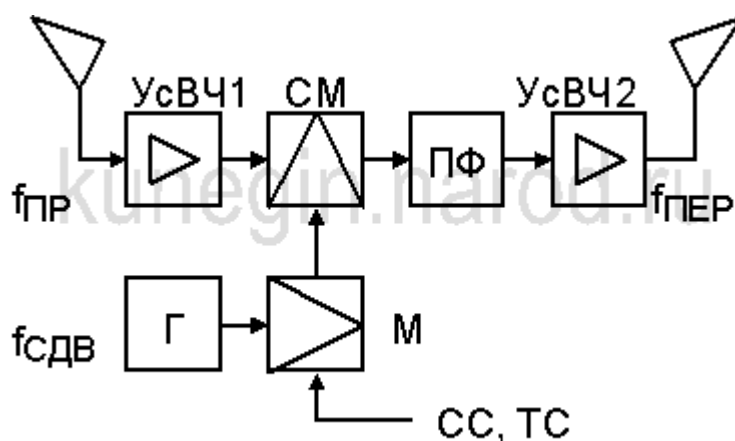


Рис. 6.64. Приемопередающая аппаратура с усилением на СВЧ и преобразованием частоты

Наиболее часто используются ППА, в которой обработка сигналов производится на промежуточной частоте  $f_{ПЧ}$  (Рис. 6.65). Номинальное значение  $f_{ПЧ}$  выбирается в соответствии с рекомендациями МСЭ-Р и обычно составляет 70 МГц.

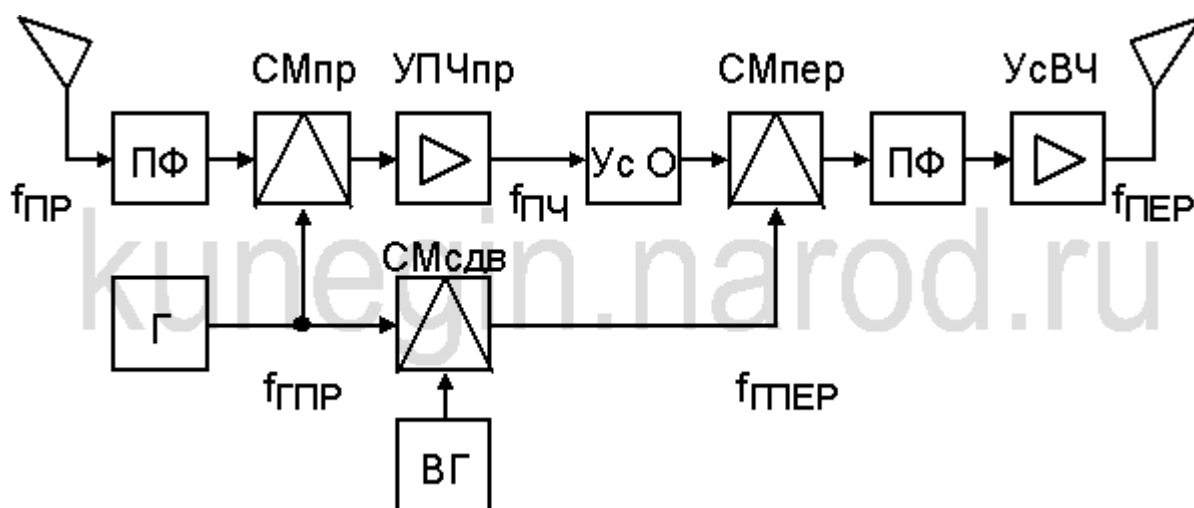


Рис. 6.65. Приемопередающая аппаратура с обработкой на промежуточной частоте

Применение промежуточной частоты для обработки сигнала позволяет унифицировать аппаратуру усиления сигнала, а также ввода и вывода информационных сигналов на промежуточных, узловых и оконечных станциях.

Основные параметры радиорелейных систем передачи приведены в Табл. 6.9 и Табл. 6.10.

Табл. 6.9

Параметр	Значение параметра для аналоговой радиорелейной СП							
	КУРС-4М	КУРС-6	"Радуга-4"	"Радуга-6"	"Электроника-связь-6-1"	КУРС-2М-2	КУРС-8	КУРС-10
Диапазон частот, ГГц	3,4..3,9	5,67..6,17	3,4..3,9	5,67..6,17	5,67..6,17	1,7..2,1	7,9..8,4	7,9..8,4
Число каналов ТЧ в тлф стволе	1020	1320	1920	1920	1020/1920	720	300	300
Мощность ПРД, Вт	1	7,5	0,5; 2; 4	1; 3	1; 3	0,4	0,3	0,3
Коэф-т шума ПРМ	2,8	10	2,8	2,8	2,8	4,5	10	10
Число дупл. стволов	8	8	8	8	8	4	4	4
Первич. сеть	Магистральная					Внутризоновая		

Табл.6.10

Параметр	Значение параметра для цифровой радиорелейной СП						
	Радан	Пихта-2	Электроника-М	Электроника-связь	Электроника-изотоп	КУРС-8-02	Радан
Диапазон частот, ГГц	10,7..11,7	1,7..2,1	10,7..11,7	10,7..11,7	1,7..2,1	7,9..8,4	7,9..8,4
Число каналов	15	30	120	120	120	120	120

ТЧ в тлф стволе							
Тип ЦСП	ИКМ-15	ИКМ-30	ИКМ-120	ИКМ-120	ИКМ-120	ИКМ-120	ИКМ-120
Метод модуляции несущей СВЧ	ЧМ	2-ОФМ	АМ	ОФМ	ЧМ	ЧМ	4-ФМ
Первичная сеть	Местная	Местная	Внутризоновая				Магистральная

#### 6.4.6. Тропосферные радиорелейные системы передачи

Тропосфера - нижняя часть атмосферы Земли (см. подраздел 5.5). В тропосфере всегда есть локальные объемные неоднородности, вызванные различными физическими процессами, происходящими в ней. Волны диапазона 0,3..5 ГГц способны рассеиваться этими неоднородностями. Механизм образования тропосферных радиоволн условно показан на Рис. 6.66.

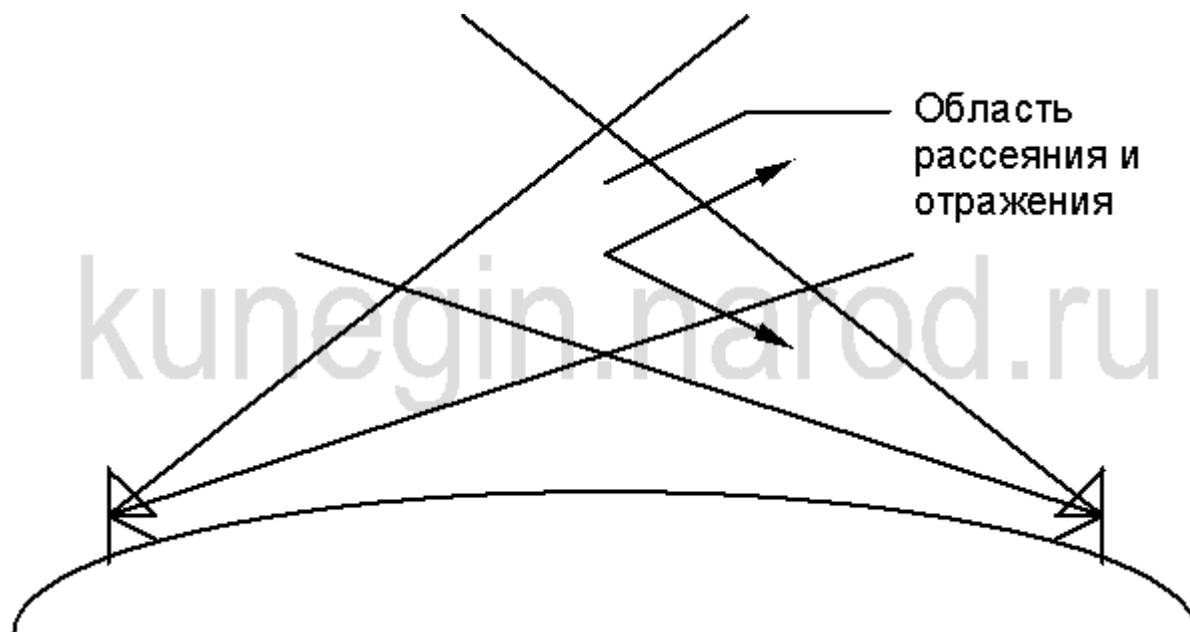


Рис. 6.66. Принцип тропосферной радиосвязи

Учитывая, что неоднородности находятся на значительной высоте, нетрудно представить, что рассеянные ими радиоволны могут распространяться на сотни километров. Это дает возможность разнести станции на расстояние 200..400 км друг от друга, что значительно больше расстояния прямой видимости.

Линии на основе тропосферных радиорелейных систем передачи строятся, как правило, в труднодоступных и удаленных районах.

Значительные расстояния между станциями, безусловно, выгодны при организации протяженных линий, поскольку требуется меньшее число станций. Однако за счет глубоких замираний из-за неустойчивости пространственно-временной структуры тропосферы и крайне малой мощности радиосигнала в точке приема организация хорошего качества связи и значительного количества каналов затруднена.

В Табл. 6.11 приведены параметры отечественных тропосферных радиорелейных систем передачи.

Табл. 6.11

Тип аппаратуры	Диапазон частот, ГГц	Среднее расстояние между станциями, км	Число каналов ТЧ
"Горизонт-М"	0,8..1	300	60
ТР-120	0,8..1	300	120
ДТР-12	0,8..1	600	12

#### 6.4.7. Радиосистемы передачи на декаметровых волнах

Радиосистема передачи, в которой используется отражение декаметровых волн от ионосферы, называется ионосферной системой передачи на декаметровых волнах.

В ионосфере (см. подраздел 5.5) происходит, строго говоря, не отражение радиоволны, а поворот ее траектории за счет неоднородности диэлектрических свойств вертикального профиля ионосферы. Траектория распространения радиоволн от одной точки на поверхности Земли к другой с одним отражением от ионосферы называется ионосферным скачком. Расстояние между пунктами приема и передачи, измеренное вдоль поверхности Земли, составляет около 2000 км. Траектория распространения радиоволн может быть образована несколькими ионосферными скачками. Условия распространения радиоволн, а следовательно, и качество радиосвязи зависят от состояния ионосферы, определяемого временем года, суток и циклом солнечной активности.

В результате ионосферные системы передачи на декаметровых волнах не позволяют организовать большого числа каналов, и обычно количество каналов не превышает одного-двух телефонных или нескольких телеграфных.

#### 6.4.8. Радиосистемы, использующие ионосферное рассеяние радиоволн и отражение от следов метеоров

Радиосистема передачи, в которой используется рассеяние метровых волн на неоднородностях ионосферы, называется ионосферной системой передачи на метровых волнах. Образование ионосферных волн в метровом диапазоне во многом сходно с образованием тропосферных волн. Разница заключается в том, что рассеяние происходит не в тропосфере, а в ионосфере на высоте 75..95 км. Предельная дальность связи в этом случае 2000..3000 км, наиболее подходящие частоты 40..70 МГц. При ионосферном рассеянии в пункт приема приходит только ничтожная часть излучаемой энергии, что

вынуждает использовать мощные радиопередатчики и большие по размеру антенны. Такие системы позволяют организовать с удовлетворительным качеством до трех телефонных каналов.

В атмосферу Земли непрерывно проникают потоки мелких космических частиц - метеоров. Большинство из них сгорает на высоте 80..120 км, образуя ионизированные следы. Протяженность следа 10..25 км, а время существования от 5 мс до 20 с. Радиосистемы, использующие отражения от следов метеоров, работают в диапазоне 30..70 МГц. Время прохождения радиосигналов при метеорной связи составляет только 2..4 ч в сутки.

Обычно с помощью этих радиосистем организуется передача телеграфных сигналов, причем таких, для которых задержка в передаче не играет существенной роли. Метеорные системы передачи применяются для дублирования ионосферных систем на декаметровых волнах в полярных широтах, для связи в метеорологической службе и некоторых других целей.

## **6.5. Спутниковые системы связи**

23 апреля 1965 года был запущен на высокую эллиптическую орбиту первый отечественный спутник связи "Молния-1", который ознаменовал становление в нашей стране спутниковой радиосвязи. Почти одновременно в США был запущен на геостационарную орбиту первый спутник коммерческой связи Intelsat-1.

Таким образом, была реализована заманчивая идея резкого увеличения дальности радиосвязи благодаря размещению ретранслятора высоко над поверхностью Земли, что позволило обеспечить одновременную радиовидимость расположенных в разных точках обширной территории радиостанций. Преимуществами систем спутниковой связи (СС) являются большая пропускная способность, глобальность действия и высокое качество связи.

Конфигурация систем СС зависит от типа искусственного спутника Земли (ИСЗ), вида связи и параметров земных станций. Для построения систем СС используются в основном три разновидности ИСЗ (Рис. 6.67) - на высокой эллиптической орбите (ВЭО), геостационарной орбите (ГСО) и низковысотной орбите (НВО). Каждый тип ИСЗ имеет свои преимущества и недостатки.



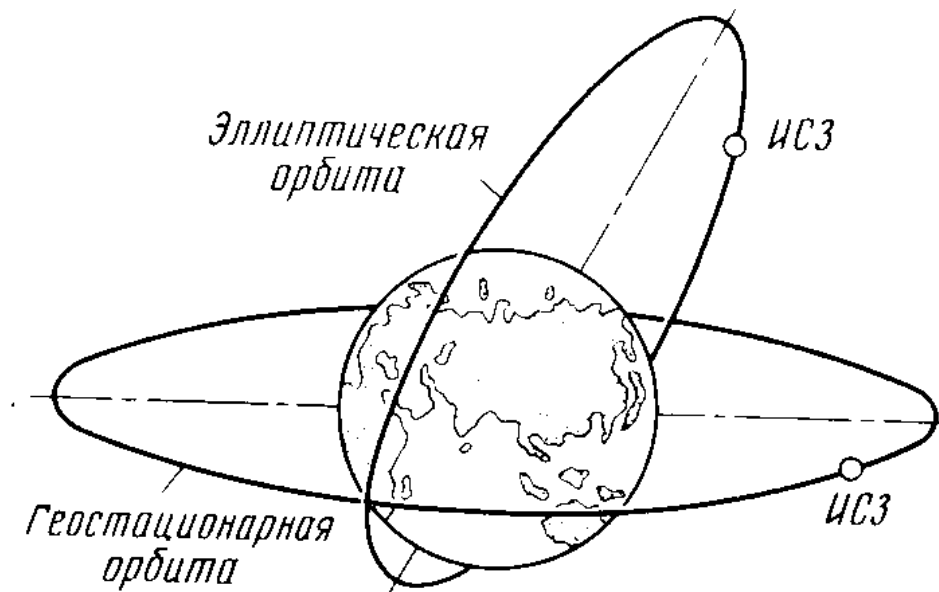


Рис. 6.67. Виды орбит ИСЗ

Примером ИСЗ с ВЭО могут служить отечественные спутники типа "Молния" с периодом обращения 12 часов, наклоном  $63^\circ$ , высотой апогея над северным полушарием 40 тысяч км. Движение ИСЗ в области апогея замедляется, при этом длительность радиовидимости составляет 6..8 ч. Преимуществом данного типа ИСЗ является большой размер зоны обслуживания при охвате большей части северного полушария. Недостатком ВЭО является необходимость слежения антенн за медленно дрейфующим спутником и их переориентирования с заходящего спутника на восходящий.

Уникальной орбитой является ГСО - круговая орбита с периодом обращения ИСЗ 24 часа, лежащая в плоскости экватора, с высотой 35875 км от поверхности Земли. Орбита синхронна с вращением Земли, поэтому спутник оказывается неподвижным относительно земной поверхности. Достоинства ГСО: зона обслуживания составляет около трети земной поверхности, трех спутников достаточно для почти глобальной связи, антенны земных станций практически не требуют систем слежения. Однако в северных широтах спутник виден под малыми углами к горизонту и вовсе не виден в приполярных областях.

"Низколеты" запускаются на круговые орбиты, плоскость которых наклонена к плоскости экватора (полярные и квазиполярные орбиты) с высотой порядка 200..2000 км над поверхностью Земли. Запуск легкого ИСЗ на низкую орбиту может быть осуществлен с помощью недорогих пусковых установок. Однако скорость перемещения ИСЗ относительно поверхности Земли достаточно велика, в результате длительность сеанса от восхода спутника до его захода не превышает несколько десятков минут.

Диапазоны рабочих частот систем СС регламентированы МСЭ-Р, различны для участков Земля-ИСЗ и ИСЗ-Земля и лежат в пределах 2..40 ГГц.

Для систем СС существуют некоторые особенности передачи сигналов:

- запаздывание сигналов - для геостационарной орбиты около 250 мс в одном направлении. Является одной из причин появления эхосигналов при телефонных переговорах;

- эффект Доплера - изменение частоты сигнала, принимаемого с движущегося источника. Для скоростей много меньших скорости света  $v_r/c \ll 1$  изменение частоты составляет  $f=f_0/(1 \pm v_r/c)$ . Наиболее сильно эффект Доплера проявляется для ИСЗ, использующих негеостационарные орбиты.

В зависимости от назначения системы СС и типа земных станций регламентом МСЭ различаются следующие службы:

- фиксированная спутниковая служба для связи между станциями, расположенными в определенных фиксированных пунктах, а также распределения телевизионных программ;
- подвижная спутниковая служба для связи между подвижными станциями, размещаемыми на транспортных средствах (самолетах, морских судах, автомобилях и пр.);
- радиовещательная спутниковая служба для непосредственной передачи радио и телевизионных программ на терминалы, находящиеся у абонентов.

*Фиксированная спутниковая служба (ФСС).* На начальном этапе развития ФСС развивалась в направлении создания систем магистральной связи с применением крупных земных станций с диаметрами зеркала антенн порядка 12..30 м. В настоящее время функционирует около 50 систем ФСС. В качестве примеров можно отметить отечественные системы СС "Молния-3", "Радуга", "Горизонт" и международные системы Intelsat и Eutelsat. Развитие ФСС идет по направлениям увеличения срока службы ИСЗ, повышения точности удержания ИСЗ на орбите, разработки и совершенствования многолучевых антенн, а также возможности работы на антенны земных станций малого диаметра (1,2..2,4 м) (системы VSAT).

*Подвижная спутниковая служба (ПСС).* В силу международного характера работы транспорта для его управления создаются международные системы глобальной спутниковой связи, например, система морской спутниковой связи Inmarsat, которая введена в действие в 1982 году. Функционально она содержит геостационарные спутники, расположенные над Атлантическим, Индийским и Тихим океанами; береговые станции, установленные на различных континентах, и разветвленную сеть судовых станций различных стандартов. В настоящее время системой Inmarsat пользуется около 15 тысяч судов. В рамках организации Inmarsat решается проблема создания системы авиационной спутниковой связи.

Успехи в космических технологиях последних лет, а также достижения в микроэлектронике, появление эффективных алгоритмов параметрического компандирования речевых сигналов (см. подраздел 8.2.5), разработка лазерных линий межспутниковой связи вызвали большой интерес к использованию легких низколетящих ИСЗ для ПСС. Поддержание большой (десятки аппаратов) группировки ИСЗ на НВО для обеспечения непрерывности связи оказывается экономически целесообразно, во-первых, ввиду упоминавшейся выше относительно малой стоимости вывода спутника на НВО и, во-вторых, в связи возможностью создания систем с малогабаритными абонентскими станциями, имеющими изотропные антенны. Ожидается, что к 2000 году будет запущено около 3000 таких ИСЗ.

Различают два типа СС с НВО. В наиболее простых из них пакеты информации передаются через ИСЗ-ретранслятор непосредственно или с задержкой на время пролета по трассе. Второй тип систем обеспечивает непрерывную связь. Зоны радиовидимости отдельных ИСЗ объединяются в единое информационное пространство.

Примером такой системы служит международный проект Iridium, возглавляемый фирмой Motorola. Система базируется на 66 легких (масса 689 кг) ИСЗ, равномерно размещенных на 6 полярных орбитах (по 11 ИСЗ на каждой орбите) высотой 780 км, плоскости которых разнесены на  $30^\circ$ , но совпадают по фазам движения. Каждый ИСЗ связан с четырьмя соседними. Ретранслятор работает на многолучевую антенну с числом лучей 48, что позволяет организовать в системе 2100 активных лучей одновременно, т.е. создать сотовую зону обслуживания на всей поверхности Земли.

В системе принят многостанционный доступ с частотно-временным разделением каналов, для межспутниковых линий и станций сопряжения предусматривается диапазон частот "К" 19..29 ГГц, для абонентских линий "Земля-ИСЗ" и "ИСЗ-Земля" - использование двух полос в диапазоне частот "L" 1610..1626,5 МГц. Система Iridium сможет охватить связью до 1,5 млн. абонентов. Начало коммерческой эксплуатации системы планируется в 1998 году. Планируется применение двухрежимных абонентских терминалов: режим Iridium и режим одного из стандартов сотовой подвижной связи (например, GSM). При нахождении абонента в зоне обслуживания системы сотовой связи, он обслуживается данной системой. Когда абонент покидает зону обслуживания системы сотовой связи, автоматически происходит его переключение на обслуживание системой СС Iridium.

*Радиовещательная спутниковая служба (РСС).* РСС реализует одно из основных направлений развития телекоммуникаций - персонализацию, т.е. телевизионные программы принимаются непосредственно на индивидуальные приемники абонентов. МСЭ утвердил международный план спутникового ТВ вещания в диапазоне 12 ГГц (НТВ-12). В планах зафиксированы точки стояния ИСЗ на ГСО, номера частотных каналов, параметры бортовой передающей аппаратуры. Для спутников бывшего СССР выделены пять точек стояния:  $23^\circ$ ,  $44^\circ$ ,  $74^\circ$ ,  $110^\circ$  и  $140^\circ$  восточной долготы. Следует отметить, что из-за исторически сложившегося развития технических средств, для непосредственного телевидения применяется также диапазон 11 ГГц, выделенный для ФСС.

К 1992 году для НТВ-12 в мире использовалось более 80 спутников, среди которых TV-SAT-1, TV-SAT-2, TDF-1, TDF-2, TELE-X и др.

Для широкого внедрения НТВ необходимы многопрограммные спутники с несколькими десятком программ с тем, чтобы с приобретением сравнительно дорогого приемного оборудования абонент (зритель) смог бы резко увеличить свой телевизионный выбор. В этой связи являются актуальными работы в области цифрового сжатия телевизионных изображений, позволяющего передавать в одном частотном стволе до 6..10 программ одновременно.

## **7. Принципы построения систем коммутации**

### **7.1. Основные понятия и определения**

Под коммутацией понимается замыкание, размыкание и переключение электрических цепей. Коммутация осуществляется на коммутационных узлах. На сетях электросвязи посредством коммутации абонентские устройства соединяются между собой для передачи (приема) информации. Абонентские устройства в некоторых случаях называют окончными устройствами сети. Коммутация осуществляется на коммутационных узлах (КУ), являющихся составными частями сети электросвязи.

Абонентские устройства сети соединяются с КУ абонентскими линиями (АЛ). КУ, находящиеся на территории одного города (населенного пункта), соединяются соединительными линиями (СЛ). Если коммутационные узлы находятся в разных городах, то линии связи, соединяющие их, называются междугородными или внутризоновыми.

Коммутационный узел, в который включаются абонентские линии, называется коммутационной станцией или просто станцией. В некоторых случаях абонентские линии включаются в подстанции (ПС). Лицо, пользующееся абонентским устройством для передачи и приема информации, называется абонентом. Для передачи информации от одного абонентского устройства сети к другому требуется установить соединение между этими устройствами через соответствующие узлы и линии связи. Для осуществления соединения на коммутационных узлах устанавливается коммутационная аппаратура.

Совокупность линейных и станционных средств, предназначенных для соединения конечных абонентских устройств, называется соединительным трактом. Число коммутационных узлов между соединяемыми абонентскими устройствами зависит от структуры сети и направления соединения.

Для осуществления требуемого соединения коммутационный узел и абонентское устройство обмениваются управляющими сигналами.

На КУ соединение может устанавливаться на время, необходимое для передачи одного сообщения (например, одного телефонного разговора), или на длительное время, превышающее время передачи одного сообщения. Коммутация первого вида называется оперативной, а второго - кроссовой (долговременной).

## **7.2. Структура коммутационного узла**

*Коммутационный узел* представляет собой устройство, предназначенное для приема, обработки и распределения поступающей информации.

Для выполнения своих функций коммутационный узел должен иметь (Рис. 7.1):

- коммутационное поле (КП), предназначенное для соединения входящих и исходящих линий (каналов) на время передачи информации;
- управляющее устройство (УУ), обеспечивающее установление соединения между входящими и исходящими линиями через коммутационное поле, а также прием и передачу управляющей информации.

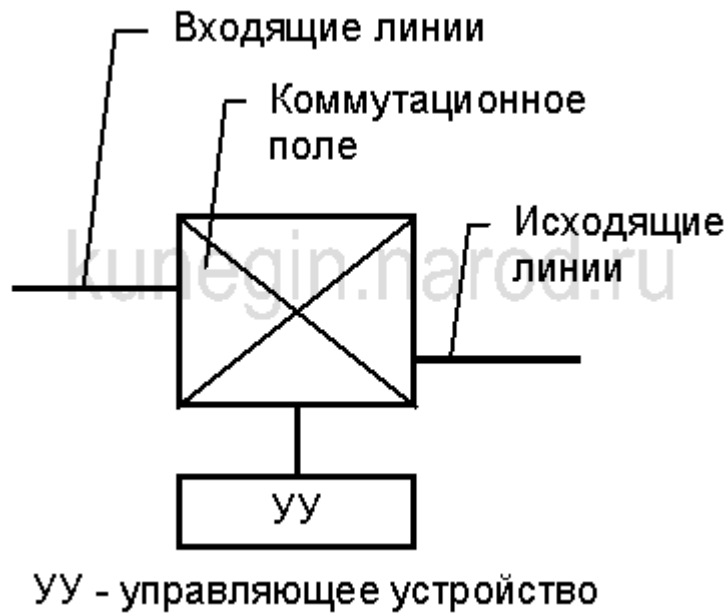


Рис. 7.1. Основные составляющие коммутационного узла

К аппаратуре для приема и передачи управляющей информации относятся (Рис. 7.2):

- регистры (Рег), или комплекты приема номера (КПН), кодовые приемопередатчики и пересчетные устройства;
- линейные комплекты (ЛК) входящих и исходящих линий (каналов), предназначенные для приема и передачи линейных сигналов (сигналов взаимодействия) по входящим и исходящим линиям или каналам для выделения каналов в системах передачи, а также для приема и передачи сигналов взаимодействия с управляющими устройствами узла;
- шнуровые комплекты (ШК) предназначены для питания микрофонов телефонных аппаратов, приема и посылки служебных сигналов в процессе установления соединения;
- устройства ввода и вывода линий (кросс).

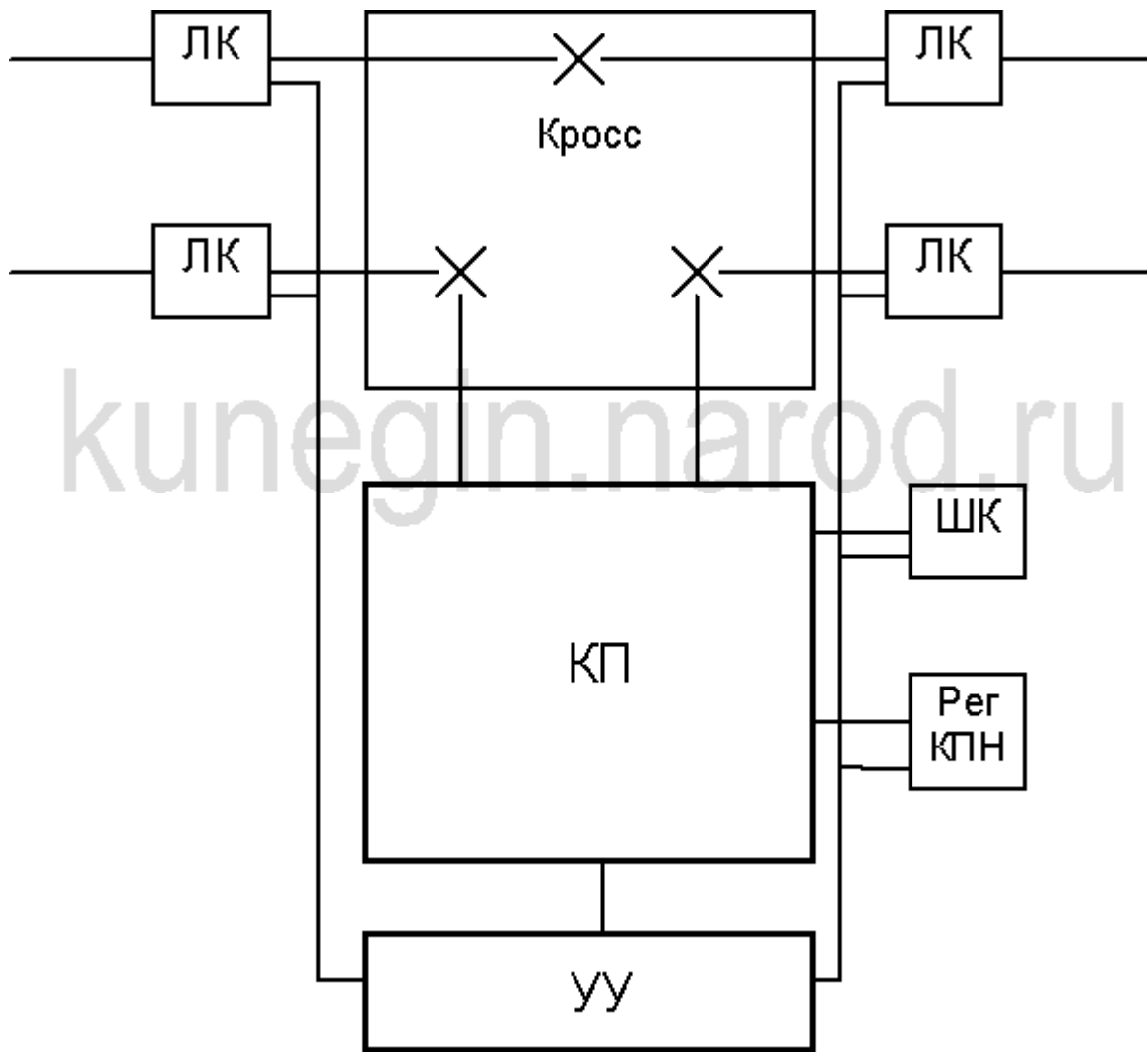


Рис. 7.2. Структура коммутационного узла

Кроме того, на узле имеются источники электропитания, устройства сигнализации и учета параметров нагрузки (количество сообщений, потерь, длительности занятия и др.).

В некоторых случаях коммутационный узел может иметь устройства приема и хранения информации, если таковая передается не непосредственно потребителю информации, а предварительно накапливается на узле. Такие узлы применяются в системах *коммутации сообщений*.

Коммутационные узлы сетей связи классифицируются по ряду признаков: по виду передаваемой информации (телефонные, телеграфные, вещания, телеуправления, передачи данных и др.); по способу обслуживания соединений (ручные, полуавтоматические, автоматические); по месту, занимаемому в сети электросвязи (районные, центральные, узловые, оконечные, транзитные станции, узлы входящего и исходящего сообщения); по типу сети связи (городские, сельские, учрежденческие, междугородные); по типу коммутационного и управляющего оборудования (электромеханические, механоэлектронные, квазиэлектронные, электронные); по системам применяемого коммутационного оборудования (декадно-шаговые, координатные, машинные, квазиэлектронные, электронные); по емкости, т.е. по числу входящих и исходящих линий или каналов (малой, средней, большой емкости); по типу коммутации (оперативная, кроссовая, смешанная); по способу разделения каналов

(пространственный, пространственно-временной, пространственно-частотный); по способу передачи информации от передатчика к приемнику (узлы *коммутации каналов*, обеспечивающие коммутацию каналов для непосредственной передачи информации в реальном масштабе времени от передатчика к приемнику после установления соединительного тракта; узлы *коммутации сообщений* и узлы *коммутации пакетов*, обеспечивающие прием и накопление информации на узлах с последующей ее передачей в следующий узел или в приемник).

### 7.3. Способы установления соединений

Известны три способа коммутации: коммутация каналов, коммутация сообщений, коммутация пакетов.

На телефонных сетях наиболее распространенным способом коммутации является *коммутация каналов (линий)*. Он характеризуется тем, что по переданному адресу представляется тракт между передатчиком и приемником на все время передачи информации в реальном масштабе времени. Недостатком этого способа является то, что тракт в большинстве случаев используется не полностью, так как информация (речевое сообщение) прерывается длительными паузами. Это приводит к неполному использованию каналов, что, в свою очередь, требует увеличения их числа на сети для поддержания требуемого качества обслуживания вызовов. В таких системах коммутации качество обслуживания вызовов оценивается вероятностью отказов в установлении соединения из-за занятости каналов (линий) и приборов коммутации (системы с потерями) или временем ожидания обслуживания вызова (в системах с ожиданием). Перечисленные показатели нормируются.

Способ *коммутации сообщений* характеризуется тем, что тракт между приемником и передатчиком заранее не устанавливается, а канал в нужном направлении предоставляется по адресу, приписываемому в начале сообщения, только для передачи сообщения, а в паузах этот канал используется для передачи других сообщений. Пришедшее на коммутационную станцию (узел) сообщение (или его часть - сегмент) поступает в запоминающее устройство. После приема и анализа адреса сообщение устанавливается в очередь для передачи его в нужном направлении. Системы коммутации сообщений являются системами с ожиданием. Качество обслуживания вызовов оценивается по среднему времени задержки. Способ коммутации сообщений используется, когда не требуется работа в реальном масштабе времени. По сравнению с коммутацией каналов коммутация сообщений имеет следующие преимущества: повышается использование каналов; возможно использование разных типов каналов на разных участках; регистрируются и хранятся проходящие через узел сообщения.

При *коммутации пакетов* сообщение разбивается на части одинакового объема, называемые пакетами. Каждому пакету присваивается номер пакета и адрес получателя. Передача пакетов одного сообщения происходит аналогично передаче в системе с коммутацией сообщений и может осуществляться по одному или разным путям. В конечном пункте пакеты собираются и выдаются адресату. Ведутся работы по использованию способа коммутации пакетов для передачи информации, требующей доставки в реальном масштабе времени (технологии ATM, Frame Relay и пр.).

Каждый из способов коммутации имеет свои преимущества и недостатки и может быть эффективно использован в определенных условиях и для определенных видов информации.

Наибольшее влияние на коммутационную технику оказала телефонная связь, поэтому коммутационная техника развивалась в основном под ее влиянием. Основные принципы, заложенные в телефонной коммутационной технике, широко используются для построения коммутационных устройств для иных видов информации. В связи с этим принципы построения коммутационных устройств подробно излагаются ниже.

## 8. Вторичные сети

### 8.1. Оборудование телефонных сетей

#### 8.1.1. Телефонная связь - наиболее массовый и важнейший вид электросвязи

Телефонная связь, являясь наиболее доступным, удобным и массовым видом электросвязи, позволяет вести переговоры людям, находящимся друг от друга практически на любых расстояниях с помощью сравнительно простых и дешевых систем, реализующих этот вид связи. Именно поэтому современные телефонные сети значительно крупнее и разветвленнее сетей других видов электросвязи.

Сеть телефонной связи нашей страны - Общегосударственная автоматически коммутируемая телефонная сеть (ОАКТС) - является составной частью Взаимоувязанной сети связи страны и содержит десятки миллионов телефонных аппаратов. Объем сообщений, передаваемых по телефонным сетям, в несколько раз превышает суммарный объем сообщений, передаваемых по системам всех других видов связи.

#### 8.1.2. Нумерация абонентских линий на ОАКТС

Единая система нумерации обеспечивает возможность установления соединения между любыми двумя абонентами ОАКТС.

На ОАКТС принят *зоновый* принцип нумерации. Территория бывшего СССР разбита на 171 зону. Обычно территория зоны телефонной нумерации совпадает с территорией области (края и т.п.). Каждой зоне присвоен свой код (ABC). Например, код Москвы - 095, Санкт-Петербурга - 812. В пределах каждой зоны вводится единая 7-значная нумерация, причем каждой 100-тысячной группе номеров присвоен двузначный код (ab).

Для осуществления *междугородной телефонной связи* между абонентами разных зон вызывающий абонент должен набрать 10-значный номер вызываемого абонента: ABCabxxxxx. При установлении связи внутри зоны используется 7 цифр этого номера, которые называются 7-значным зоновым номером абонента.

В качестве знака "а" не могут использоваться цифры 8 и 0 (8-индекс выхода на междугородную сеть, 0-на узел спецслужб с сокращенной нумерацией). Емкость зонной нумерации ограничивается 80 кодами ab, т.е. 80-ю 100-тысячными группами или 8 млн. абонентских номеров.

Для городских телефонных сетей (ГТС) в зависимости от их емкости и перспектив развития из общей зонной нумерации выделяется одна, две и более 100-тысячных групп. Для осуществления соединений в пределах ГТС устанавливается местная 5-, 6- или 7-значная нумерация.



Основной единицей емкости ГТС является АТС на 10 тысяч номеров, поэтому местный абонентский номер образуется из 4-значного номера в пределах 10-тысячной группы с добавлением станционного кода. Например, ахххх, аbхххх, аbcхххх.

В качестве знака "а" не могут использоваться цифры 0 или 8. Знаки "а" 6-значного и "ab" 7-значного местного номера должны совпадать с кодами 100-тысячных групп нумерации, выделенных для данной ГТС.

При наличии на ГТС учрежденческо-производственных телефонных станций (УПТС) для сокращенной нумерации в пределах УПТС из состава нумерации ближайшей (опорной) районной АТС (РАТС) выделяется группа номеров, кратная 100.

Для сельских телефонных сетей в составе зональной нумерации выделяется *одна* 100-тысячная группа. На СТС применяется открытая (9 - цифра выхода на вышестоящую станцию) и закрытая нумерация.

Междугородный вызов абонента ГТС осуществляется следующим образом. Набор индекса выхода на междугородную сеть "8"; готовность АМТС ("зуммер" или "длинный гудок"); набор 10-значного номера. Если вызываемая ГТС имеет 5- или 6-значную нумерацию, то местный номер вызываемого абонента дополняется до 7 цифрами "2".

Междугородный вызов абонента СТС. Установление соединения с абонентом СТС другой зоны. После кода зоны набирается 2-значный код сельского района и 5-значный абонентский номер. В справочниках коды зоны и сельского района объединяются. Например, код Санкт-Петербурга - 812, код Волховского района - 63, тогда код г. Волхова - 81263.

Установление соединения в пределах своей зоны. 8-зуммер- направляющий индекс 2 (своя зона) - код 100-тысячной группы ab - 5-значный номер. В справочниках направляющий индекс 2 и код ab объединяют. Код СТС Пушкинского района - 53, код г. Пушкино 253. Тогда вызов абонента г. Пушкино 7-55-99 из Москвы осуществляется следующим образом: 8-(253)75599. Вызов того же абонента из Санкт-Петербурга: 8-(096)5375599.

### **8.1.3. Основы теории телефонного сообщения**

Для теоретического исследования сетей используются теория вероятностей и математическая статистика, на основе которой создана теория массового обслуживания. Применительно к телефонной связи она получила название теории телефонного сообщения. Эта теория изучает процессы и закономерности прохождения сообщений по сети, определяет эффективность использования коммутационных систем и линий связи, а также вопросы качества обслуживания абонентов.

Важнейшими понятиями теории телефонного сообщения являются вызовы, нагрузка и потери.

Вызовом называется заявка (специальный сигнал) одного из абонентов на установление соединения, т.е. заявка на создание системы связи между абонентами. Понятие вызова распространяется и на сам процесс установления соединения.

Совокупность заявок, поступающих на станцию, называют поток вызовов. Важным параметром потоков вызовов является интенсивность вызовов, под которым понимается

число вызовов, появившихся в единицу времени. Вызовы поступают неравномерно, т.е. интенсивность вызовов является величиной непостоянной.

Кроме знаний о характере и параметрах потоков вызовов для правильного построения коммутационных систем необходимо знать суммарное время обслуживания вызовов, поступающих в единицу времени, которое принято называть нагрузкой. Единица измерения нагрузки - часо-занятия.

Для подсчета нагрузки используется выражение  $Y=Nct$ ,

где  $N$  - число источников нагрузки (например, число абонентов),

$c$  - число вызовов за час от одного источника,

$t$  - длительность обслуживания вызова.

Например, если на станцию за 1 ч поступают 100 вызовов, то для последовательного обслуживания всех вызовов со средней затратой времени на каждый вызов 0,1 ч (6 мин) потребуется суммарное время 10 ч. Столько времени будут заняты обслуживающие приборы.

Вызовы можно обслуживать не только последовательно, один за другим, но и параллельно, одновременно используя несколько приборов станции и соединительных линий.

Например, если в обслуживании тех же вызовов будут участвовать 10 приборов и 10 линий, то поступившие 100 вызовов будут обслужены за 1 час.

В случае параллельного обслуживания используют параметр интенсивность нагрузки. Интенсивность нагрузки измеряется в часо-занятиях, отнесенных к часу. Единица интенсивности нагрузки - Эрланг. Один Эрланг (Эрл) - эта такая интенсивность нагрузки, при которой в течении одного часа будет обслужена нагрузка в одно часо-занятие.

Интенсивность нагрузки подвержена резким колебаниям в течение суток. Для расчета необходимого числа оборудования коммутационной станции принято учитывать так называемый час наибольшей нагрузки (ЧНН) - непрерывные 60 мин в течение суток, когда наблюдается максимальная интенсивность нагрузки. На Рис. 8.1 показан характер изменения интенсивности нагрузки в течение суток для станций, обслуживающих производственные районы (кривая 1) и жилой массив (кривая 2).

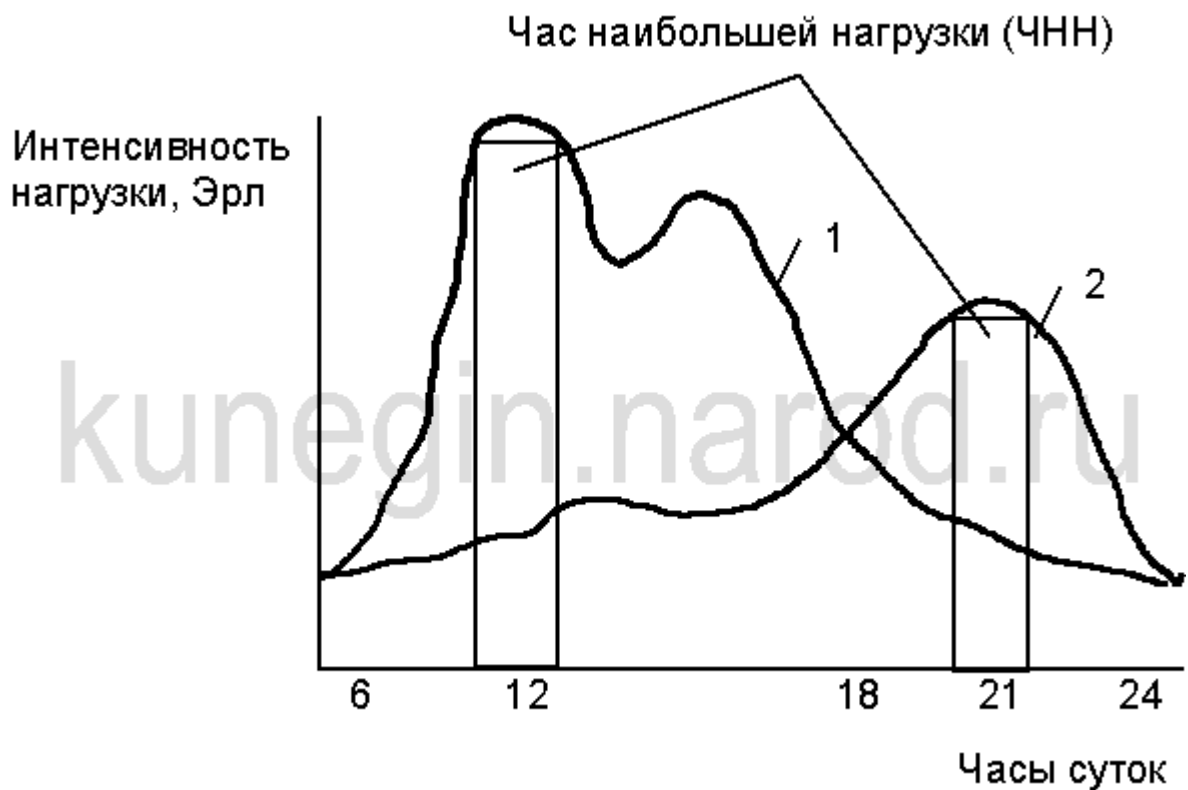


Рис. 8.1. Характер изменения интенсивности телефонной нагрузки в течение суток для станций, обслуживающих производственные предприятия (кривая 1) и жилой микрорайон (кривая 2)

На коммутационных станциях не все поступающие вызовы могут быть обслужены немедленно из-за отсутствия в нужный момент свободных исходящих линий. В этом случае абонент получает сигнал "Занято", необслуженный вызов называют потерянным, а сам факт необслуживания - отказом. Такие системы получили название системы коммутации с потерями.

Существуют так называемые системы коммутации с ожиданием, в которых при занятых исходящих линиях абонент не получает отказа, а ожидает освобождения одной из линий, после чего соединение будет установлено.

Число потерянных вызовов в единицу времени в системах с потерями и число одновременно ожидающих абонентов в системах с ожиданием характеризуют качество обслуживания.

#### **8.1.4. Аппаратура передачи речи**

В системе телефонной связи к аппаратуре передачи речи относятся электроакустические преобразователи и вспомогательные устройства. Электроакустические преобразователи осуществляют преобразование электрической энергии в звуковую и наоборот.

Телефон - осуществляет преобразование электрической энергии в звуковую, предназначен для работы в условиях нагрузки на ухо человека. Микрофон - преобразует звуковые колебания в электрические. Устройства, сочетающие функции телефона и микрофона, называют обратимыми. Устройства, требующие для своей работы источник питания, называют активными.

Принцип действия электромагнитного телефона основан на взаимодействии магнитных потоков, создаваемых постоянным магнитом ( $\Phi_0$ ) и электромагнитом ( $\Phi_{\sim}$ ). Под действием результирующего (суммарного) потока мембрана телефона совершает колебательные движения, совпадающее с изменениями электрического тока, поступающего в обмотку электромагнита.

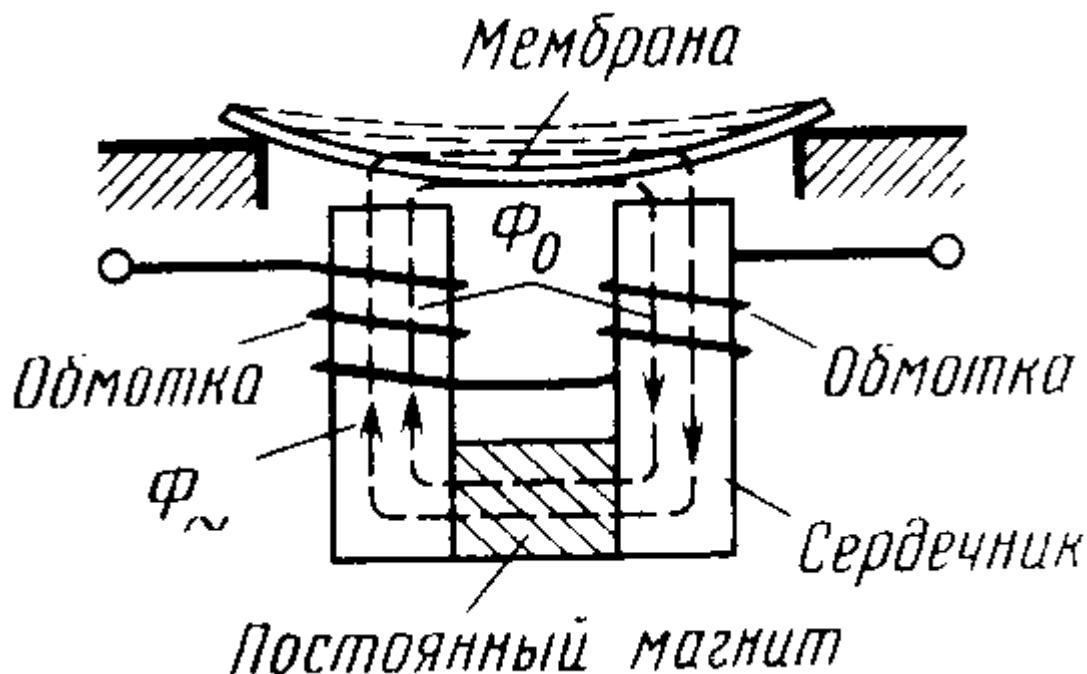


Рис. 8.2. Устройство электромагнитного телефона

Основными элементами телефона (Рис. 8.2) являются: постоянный магнит, электромагнит, состоящий из двух обмоток с сердечниками, и мембрана.

В телефонных аппаратах применяются так называемые капсульные телефоны, размещаемые в микротелефонных трубках. Конструктивное исполнение их может быть различным.

В покое, т.е. при отсутствии тока в обмотках электромагнита, мембрана притянута к сердечникам под действием потока, создаваемого постоянным магнитом, имеет небольшой прогиб в сторону сердечников и неподвижна. Появление переменного электрического тока в обмотках электромагнита создает в сердечнике дополнительный переменный магнитный поток, имеющий направление совпадающее, либо противоположное направлению потока, создаваемого постоянным магнитом (Рис. 8.3). В результате мембрана будет совершать колебательные движения, соответствующие изменению величины тока. Колебательные движения мембраны создают распространяющиеся колебательные движения частиц воздуха, воспринимающиеся ухом человека как звук.

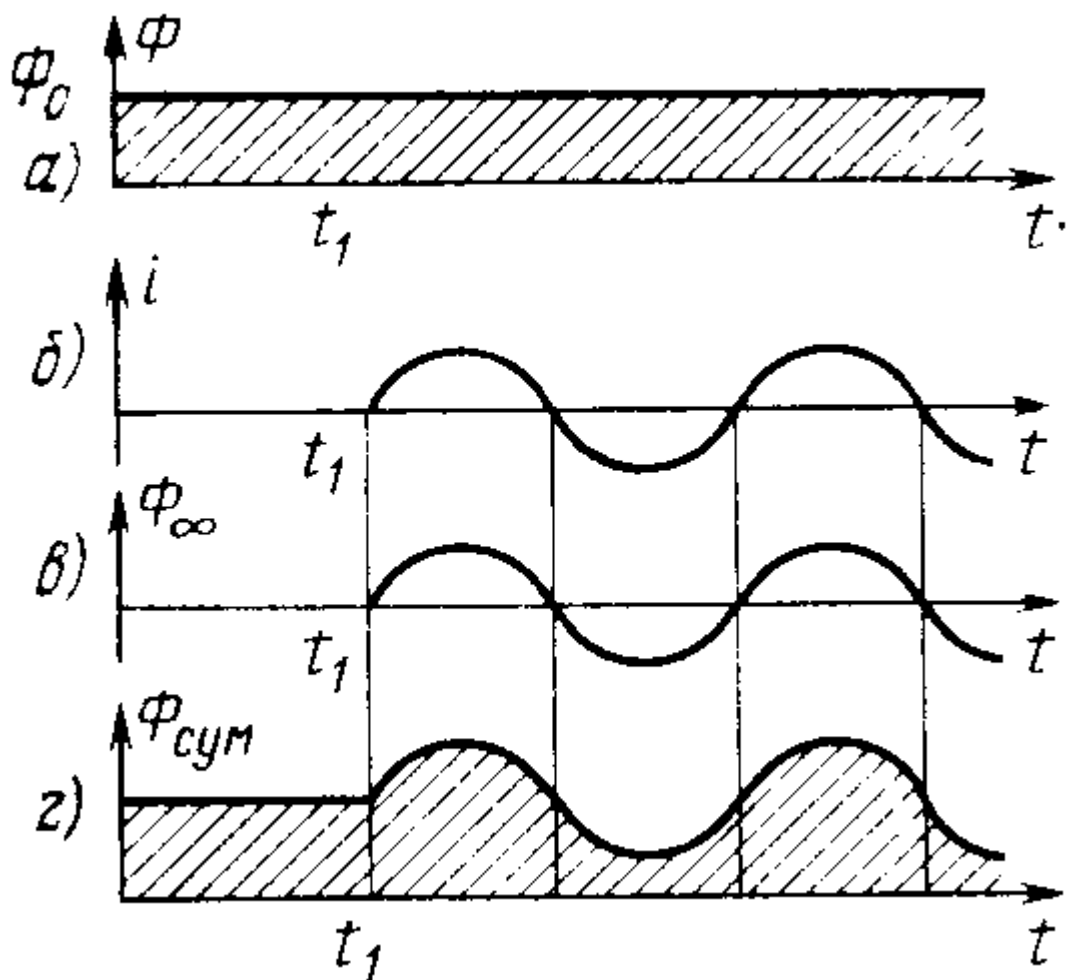


Рис. 8.3. Графики, поясняющие работу электромагнитного телефона: а - поток постоянного магнита; б - изменение тока в обмотках; в - изменение потока электромагнита; г - суммарный магнитный поток

Угольный микрофон - необратимый активный акустоэлектрический преобразователь. Принцип действия основан на свойстве угольного порошка изменять сопротивление электрическому току в зависимости от его плотности, изменяющейся под действием звуковых колебаний воздушной среды. Устройство угольного микрофона и схема его включения в электрическую цепь показаны на Рис. 8.4. Основными элементами микрофона являются подвижный и неподвижный электроды, подключенные к электрической цепи, и угольный порошок, заполняющий пространство между электродами. Подвижный электрод жестко связан с мембраной, воспринимающей колебания окружающего слоя воздуха. Элементы микрофона помещены в общий корпус, изготовленный из токонепроводящего материала. Звуковые колебания воздуха приводят к соответствующим колебаниям мембраны. Вместе с мембраной колеблется, совершая горизонтальные движения, подвижный электрод, изменяющий плотность угольного порошка. При увеличении плотности порошка его сопротивление электрическому току уменьшается, а при уменьшении - увеличивается. Следовательно, ток в цепи будет изменяться прямо пропорционально изменению звукового давления (Рис. 8.5).

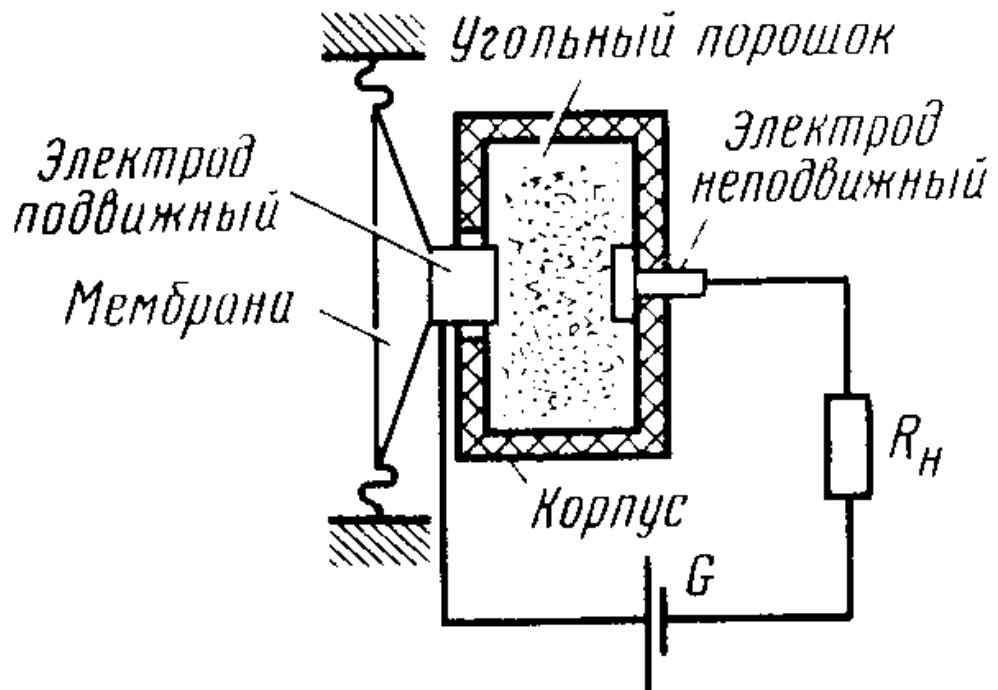


Рис. 8.4. Устройство и схема включения угольного микрофона

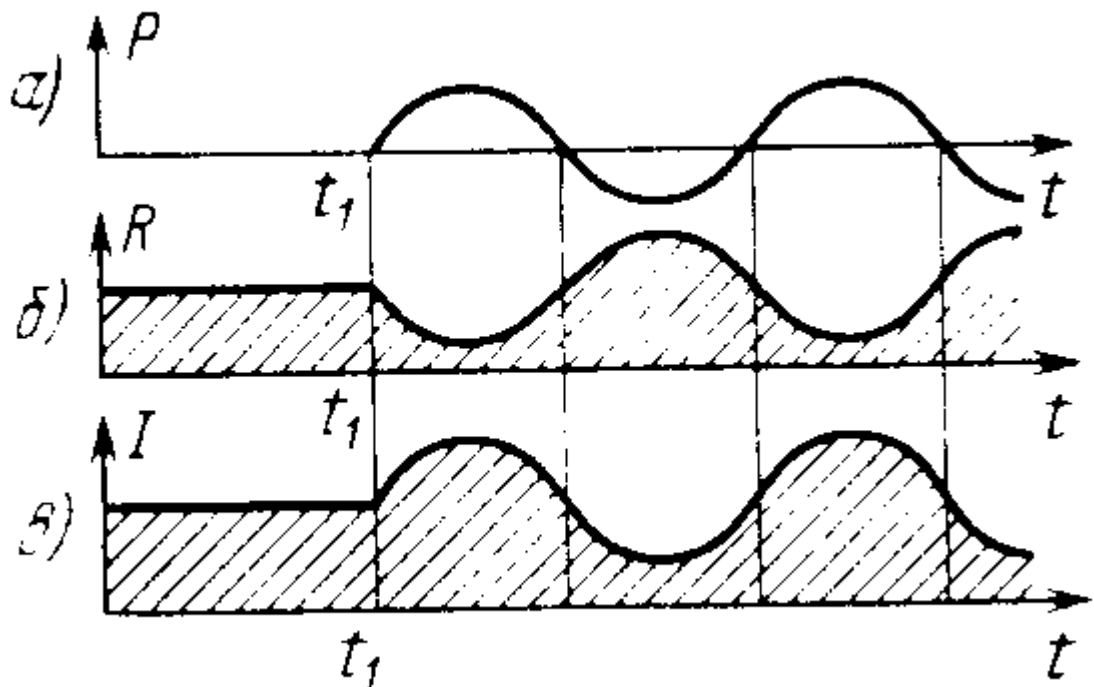


Рис. 8.5. Графики изменения звукового давления (а), сопротивления угольного порошка (б) и тока (в) в цепи

При отсутствии звуковых колебаний ( $P=0$ ) мембрана находится в состоянии покоя, сопротивление порошка не изменяется, а в цепи микрофона протекает неизменяющийся ток  $I$ . С появлением звуковых колебаний, т.е. началом изменения звукового давления (с момента  $t_1$ , ток начинает изменяться по закону изменения давления.

К вспомогательным устройствам относятся вызывные приборы, предназначенные для приема сигналов вызова: звонок, зуммер и др. Вспомогательным, но обязательным является также устройство для передачи адресной информации, называемое номеронабирателем. Номеронабиратели бывают дисковые и тастатурные (кнопочные). Принцип их работы рассматривается ниже в подразделе 8.1.8 "Телефонная сигнализация".

Все элементы аппаратуры передачи речи конструктивно объединяются в прибор, называемый телефонным аппаратом (ТА). Структурная схема ТА приведена на Рис. 8.6.

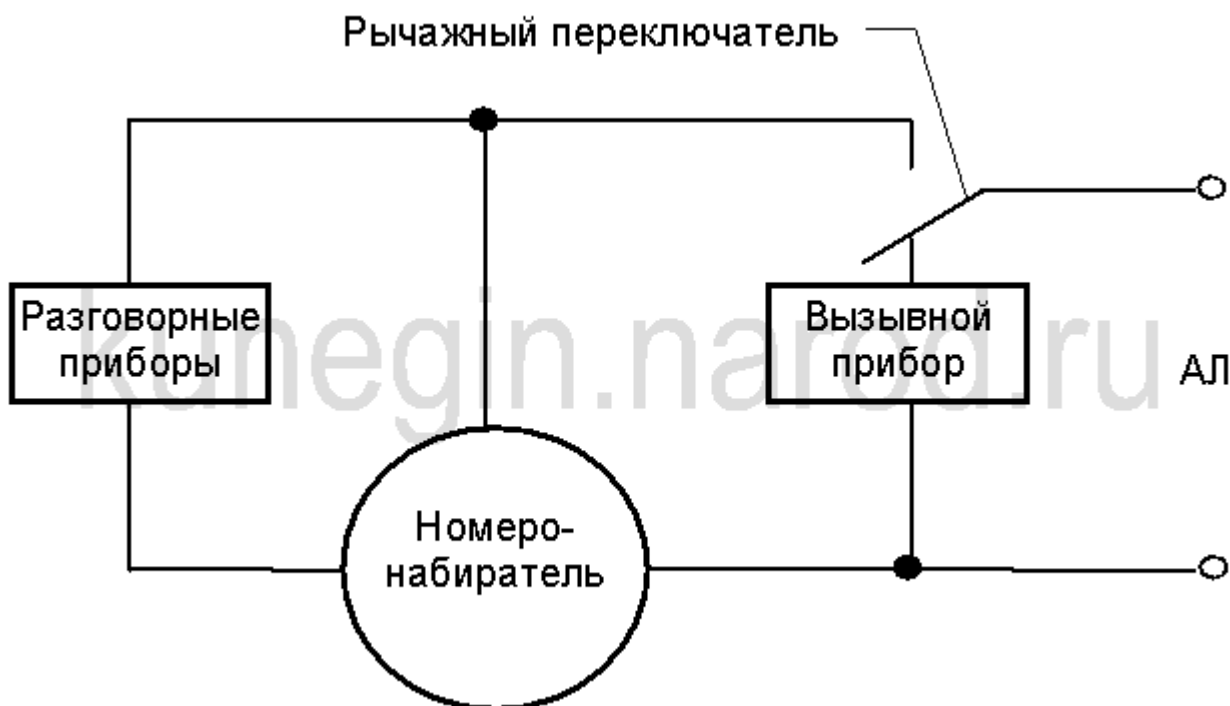


Рис. 8.6. Структурная схема телефонного аппарата

Когда микрофонная трубка ТА не снята, она нажимает на рычажный переключатель, удерживая его в нижнем положении, как показано на Рис. 8.6. При этом к АЛ подключен вызывной прибор, который сработает при поступлении сигнала вызова. При снятии микрофонной трубки с ТА переключатель поднимается вверх и подключает к линии разговорные приборы и номеронабиратель, подготавливая ТА к ведению переговоров.

По способу электропитания разговорных и вспомогательных приборов различают ТА с местной батареей (МБ) и центральной батареей (ЦБ). ТА МБ оборудован батареей постоянного тока с напряжением 3 В. ТА ЦБ получает питание своей схемы по проводам АЛ от ЦБ, размещаемой на АТС. Напряжение ЦБ обычно составляет 24, 48 или, чаще всего, 60 В.

### 8.1.5. Коммутационные приборы

Для осуществления коммутации (соединения) линий (или каналов) и управления процессами установления соединения применяются коммутационные приборы.

Коммутационным прибором называется устройство, обеспечивающее замыкание, размыкание или переключение электрических цепей, подключенных к его входам и выходам, при поступлении в прибор управляющего сигнала. Замыкание, размыкание и переключение электрических цепей в коммутационном приборе осуществляется коммутационным элементом (КЭ), который в простейшем случае представляет собой один контакт на замыкание.

К коммутационному прибору могут подключаться линии с различной проводностью (двух-, трех- и т.д. проводные), поэтому их коммутация осуществляется несколькими КЭ, объединенными в коммутационную группу, коммутационные элементы которой переключаются одновременно под влиянием поступающего управляющего сигнала.

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

Коммутационные приборы различаются между собой структурными и электрическими параметрами, обусловленными их конструкцией.

К *структурным* параметрам относятся: число входов  $n$ , число выходов  $m$ , доступность  $D$  входов по отношению к выходам, проводность коммутируемых линий  $l$ , свойство памяти.

Производными от этих параметров являются общее число точек коммутации  $T$ , число коммутационных групп и число коммутационных элементов, а также максимальное число одновременных соединений.

К электрическим параметрам коммутационных приборов относятся:

- сопротивление коммутационного элемента в разомкнутом (закрытом) состоянии  $R_3$ , и замкнутом (открытом) состоянии  $R_0$ , отношение которых называется

$$K = \frac{R_3}{R_0};$$

- коммутационным коэффициентом
- время переключения КЭ из одного состояния в другое;
- вносимое затухание в разговорный тракт;
- уровень шумов;
- напряжение питания;
- величина тока, необходимого для переключения КЭ;
- потребляемая мощность.

Коммутационные приборы характеризуются также сроком службы или долговечностью, под которыми понимается допустимое число переключений или допустимое время работы, и интенсивностью отказов (повреждений), т.е. вероятностью отказов в единицу времени.

Некоторые коммутационные приборы обладают свойством памяти, т.е. способностью сохранять рабочее состояние после прекращения управляющего воздействия. Это позволяет сократить расход электроэнергии для поддержания рабочего состояния прибора. Для возвращения прибора в исходное состояние требуется новое управляющее воздействие.



Используемые в настоящее время коммутационные приборы по структурным параметрам можно разделить на четыре типа.

1. Коммутационные приборы типа  $(1 \times 1)$ , имеющие один вход и один выход. Число входов и выходов прибора указывается в круглых скобках, где первая цифра - число входов  $n$ , а вторая - число выходов  $m$ . Прибор имеет два состояния, в одном из которых соединение между входом и выходом отсутствует, а в другом - соединение установлено. Переход коммутационного элемента (или коммутационной группы) из одного состояния в другое осуществляется под воздействием сигнала, поступающего на управляющий вход из устройства управления.

2. Коммутационные приборы типа  $(1 \times m)$ , имеющие один вход  $n=1$  и  $m$  выходов. В приборе можно установить соединение входа с любым из  $m$  выходов, следовательно, доступность прибора  $D=m$ . Одновременно в приборе может быть установлено только одно соединение.

3. Коммутационные приборы типа  $n(1 \times m)$ , имеющие  $n$  входов и  $nm$  выходов. Каждому входу из  $n$  доступно только  $m$  определенных выходов, следовательно, доступность прибора  $D=m$  из общего числа выходов  $nm$ . В приборе одновременно может быть установлено  $n$  соединений.

4. Коммутационные приборы типа  $(>n \times m)$ , имеющие  $n$  входов и  $m$  выходов. Каждому из  $n$  входов доступен любой из  $m$  выходов, следовательно,  $D=m$ . В приборе одновременно может быть установлено  $n$  соединений, если  $n \leq m$  или  $m$  соединений, если  $n > m$ .

Широко распространенным прибором является электромагнитное реле. Электромагнитное реле - это прибор типа  $(1 \times 1)$ . В телефонной технике применяются в основном электромагнитные реле постоянного тока с открытыми и герметизированными контактами.

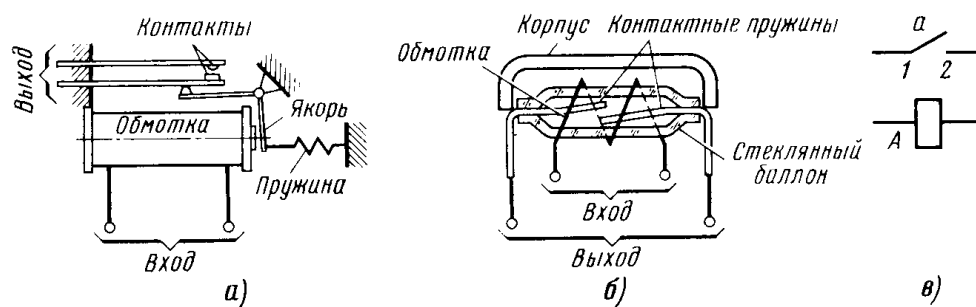


Рис. 8.7. Электромагнитные реле: а - с открытыми контактами; б - с герметизированными контактами

Реле с открытыми контактами (Рис. 8.7, а) состоит из обмотки с сердечником, якоря с пружиной и контактов, укрепленных на плоских пружинных пластинах. При отсутствии тока в обмотке якорь под действием пружины оттянут от сердечника и контакты разомкнуты. При появлении тока в обмотке якорь притягивается к сердечнику и, поворачиваясь на оси, вторым плечом нажимает на контактную пластину, замыкая контакты.

Из многих типов реле с открытыми контактами наиболее широко применяются реле типов РПН и РЭС-14 с максимальным числом контактных пружин 18 и 24 соответственно.

Реле с герметизированными контактами (герконы) имеют контактные пружины, полностью изолированные от окружающей среды, так как помещены в заполненный инертным газом стеклянный баллон (Рис. 8.7, б). Геркон помещается внутри обмотки и корпуса, выполненного из магнитного материала. При отсутствии тока в обмотке контактные пластины под действием сил упругости отходят друг от друга, размыкая выходную цепь. При появлении тока в обмотке образуется магнитный поток, притягивающий к друг другу контактные пластины.

Основными достоинствами герконовых реле являются: быстродействие, хорошее качество контактов и малые габариты. На практике широко используются герконовые реле РЭС-46, РЭС-51 и РЭС-55.

В коммутационной технике широко применялись и находятся в эксплуатации в настоящее время электромеханические искатели - коммутационные приборы типа (1×m) со свойством памяти.

В состав электромеханических искателей обычно входят:

- контактное поле (статор - неподвижный узел), состоящее из изолированных ламелей, к которым подключаются выходы m;
- ротор со щетками, последовательно перемещающийся между ламелями. К щеткам подключается коммутируемая линия (вход);
- привод, обеспечивающий движение ротора.

Искатели классифицируют:

- по принципу действия привода (шаговые и моторные с индивидуальным приводом, машинные с общим приводом);
- по количеству и виду движений ротора (вращательные, подъемно-вращательные);
- по структуре контактного поля (декадное и недекадное).

На Рис. 8.8 приведены устройство шагового (ШИ) и декадно-шагового искателей (ДШИ).

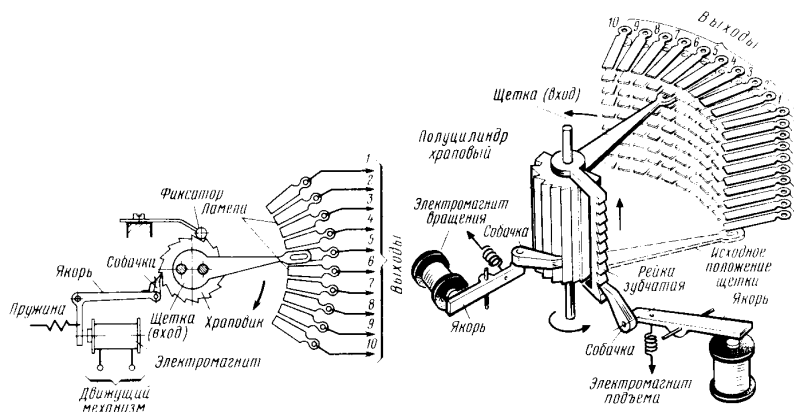


Рис. 8.8. Устройство шагового и декадно-шагового искателей

В коммутационных системах используются шаговые искатели ШИ-11 и ШИ-17 с 10 и 15 рабочими выходами соответственно, а также декадно-шаговые искатели ДШИ, имеющие 100 выходов с декадным построением контактного поля.

Широкое применение в современных АТС имеют коммутационные приборы, называемые многократными координатными соединителями (МКС). МКС представляет собой многопозиционный электромагнитный коммутационный прибор типа  $n(1 \times m)$ . Коммутационными элементами МКС являются металлические контакты релейного типа, выполненные из благородных металлов. Принцип работы МКС основан на принципе координатной сетки (Рис. 8.9). К вертикальным шинам сетки подключаются входы, а к горизонтальным - выходы, и в местах пересечения шин создаются коммутационные точки, позволяющие соединить вход с любым выходом.

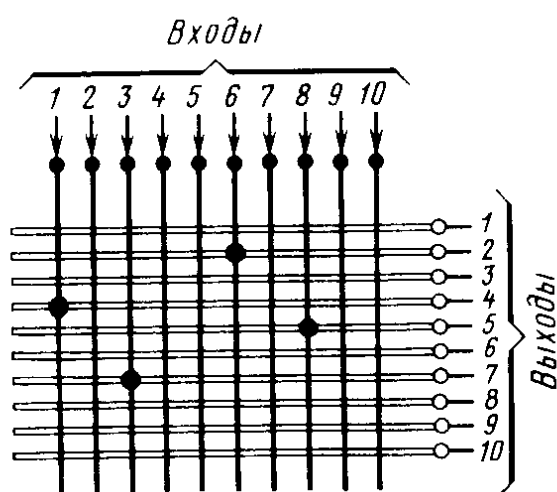


Рис. 8.9. Принцип устройства и работы МКС

Конструктивно МКС представляет собой коллективное реле с большим числом контактных пружин (Рис. 8.10). Основными элементами его являются вертикальные блоки, или просто вертикали. Каждая вертикаль содержит контактные струны (шины) и  $m$  групп контактных пружин, составляющих контактное поле вертикали (Рис. 8.11). Состояние контактов в группах вертикали обусловлено работой двух электромагнитов с рейками: удерживающего УЭ с рейкой УР и выбирающего ВЭ с рейкой ВР (см. Рис. 8.10). Каждая вертикаль имеет свой УЭ, а число ВЭ равно числу контактных групп  $m$ .

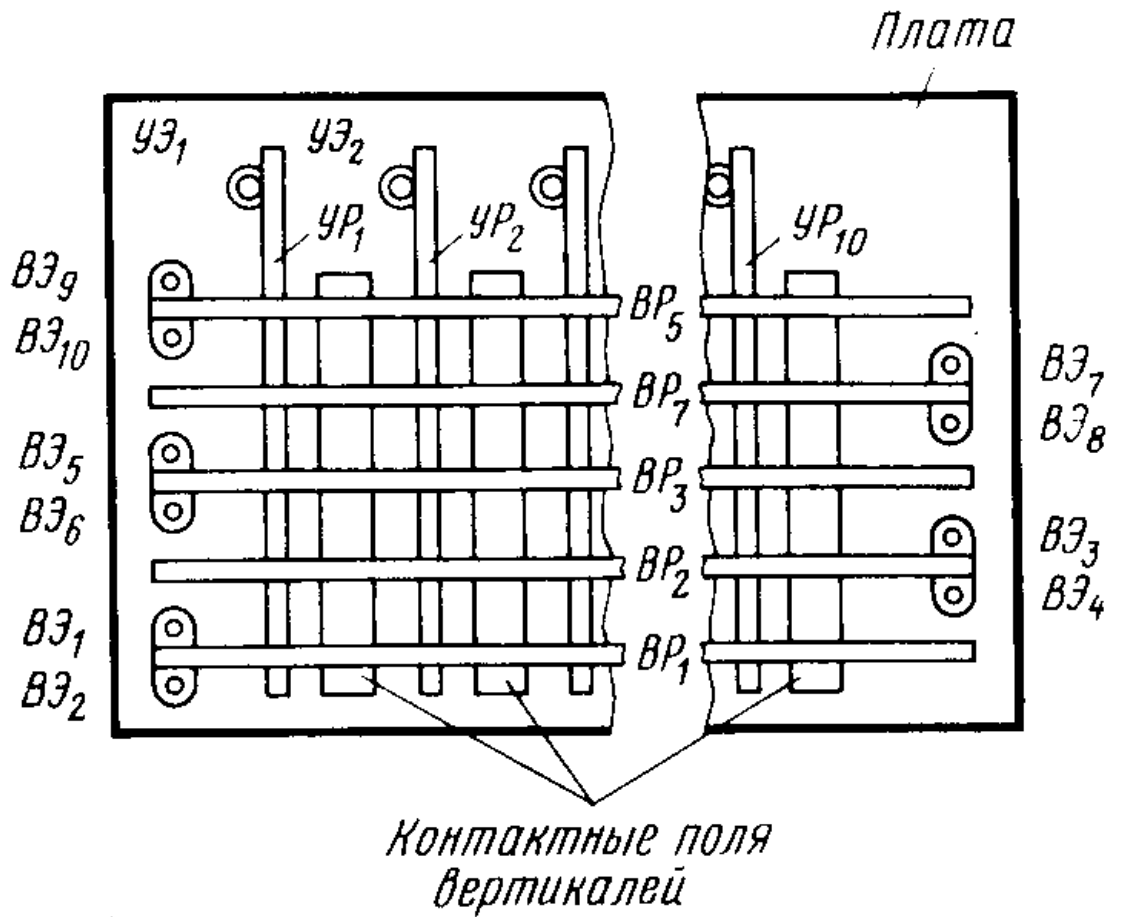


Рис. 8.10. Размещение элементов на плате МКС

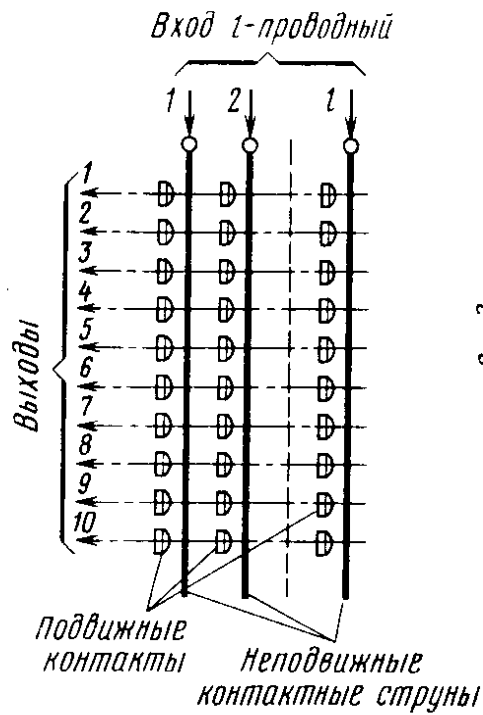


Рис. 8.11. Схема контактного поля вертикали

Промышленность выпускает МКС, имеющие 10 или 20 вертикалей (входов) и 10 выходов при 6- или 12-проводных цепях. Принята следующая условная запись: МКС- $n \times m \times l$ , где  $n$  - число вертикалей,  $m$  - емкость вертикалей,  $l$  - проводность коммутируемых цепей. Например, МКС-10 $\times$  10 $\times$  12 и МКС-20 $\times$  10 $\times$  6.

Многokратные соединители могут быть реализованы на герконовых реле. На практике используются герконовые соединители типа МГС-8 $\times$  8 $\times$  2 и МГС-8 $\times$  8 $\times$  4, имеющие восемь входов, восемь выходов и обеспечивающие соответственно двух- и четырехпроводную коммутацию. Схема построения МГС приведена на Рис. 8.12. Многokратные соединители характеризуются малым временем установления соединения, высокой надежностью, унифицированностью конструкции.

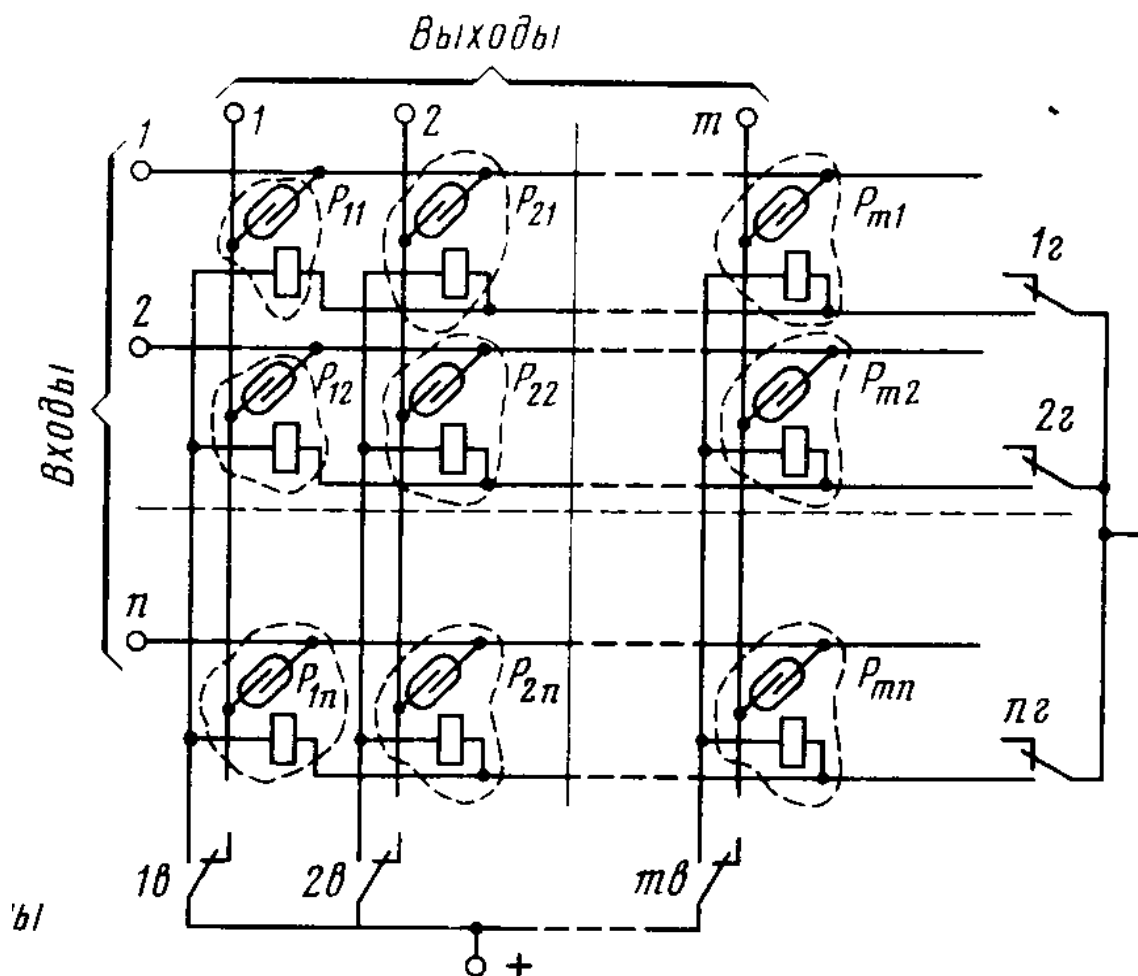


Рис. 8.12. Схема построения соединителя на герконовых реле

В качестве коммутационных элементов могут применяться бесконтактные (электронные) элементы - электронные ключи. Однако такие соединители не получили широкого применения из-за сложности обеспечения удовлетворительных электрических параметров коммутационных элементов.

Все рассмотренные выше коммутационные приборы, в том числе и электронные ключи, реализуют принцип пространственной коммутации, когда точки коммутации разнесены в пространстве.

Электронная (бесконтактная) коммутация в современных электронных АТС осуществляется на основе принципа временной коммутации, заключающегося в следующем. Аналоговые (телефонные) сигналы преобразуются в цифровые, в результате чего образуются цифровые потоки, аналогичные потокам цифровых систем передачи (см. подраздел 6.3). Коммутация осуществляется изменением номера канального интервала для данного сигнала. На выходе станции производится обратное преобразование цифровых сигналов в аналоговые.

Автоматические телефонные станции могут быть реализованы на различных коммутационных приборах. Станции, реализованные на шаговых и декадно-шаговых искателях, называются декадно-шаговыми. Станции, реализованные на МКС, называются координатными. Станции, использующие герконовые коммутационные приборы, называются квазиэлектронными (почти электронными), а использующие электронные приборы - электронными. В историческом плане вначале появились АТС декадно-шаговые, затем координатные, потом квазиэлектронные и последними электронные.

### **8.1.6. Принципы построения коммутационных полей**

Принципы построения и структура коммутационных полей телефонных станций определяются принятым способом коммутации (пространственным или временным), типом используемых коммутационных приборов и числом входящих и исходящих линий.

Наиболее типичным является построение коммутационных полей *декадно-шаговых* АТС. Рассмотрим этот тип полей подробнее.

Простейшая АТС на десять номеров может быть построена с помощью десяти шаговых искателей (Рис. 8.13). Телефонный аппарат каждого абонента через абонентскую линию подключается к подвижным контактам (щеткам) своего искателя. Одноименные выходы искателей запараллелены, т.е. контакты с одноименными номерами объединены в отдельные цепи и к каждой подключается АЛ. Номер АЛ соответствует номеру контактов, к которым она подключена. При установлении соединения щетка искателя вызывающего абонента под действием импульсов от номеронабирателя телефонного аппарата подключается к неподвижному контакту, соответствующему номеру вызываемого абонента. По завершении разговора щетка устанавливается в исходное состояние.

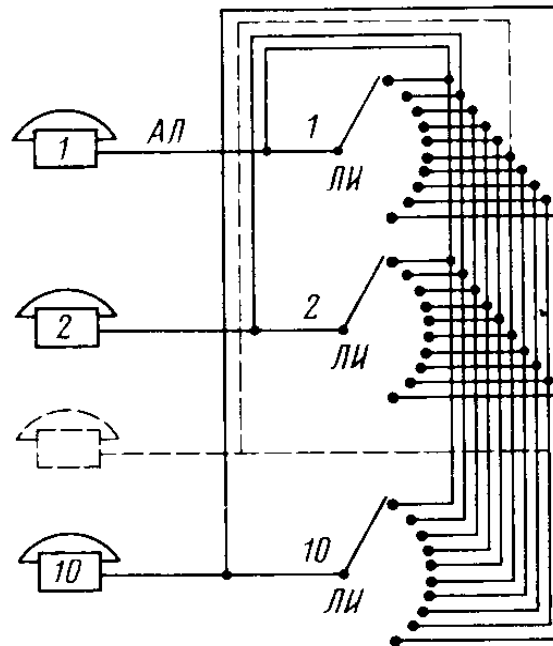


Рис. 8.13. Структурная схема шаговой АТС на десять номеров

Искатели, в контактное поле которых включаются абонентские линии, называются линейными ЛИ. Совокупность искателей, выполняющих одинаковые функции в процессе установления соединения на станции, называются ступенью искания. В данном случае станция имеет одну ступень линейного искания.

Телефонную станцию на 100 номеров можно построить, используя 100 штук ДШИ. Каждая АЛ подключается к щеткам своего ДШИ и к одноименным контактам поля всех 100 искателей. Абоненты имеют двухзначные номера. Построение АТС по принципу непосредственного включения абонентских линий в ЛИ типа ДШИ является неэкономичным, так как требует большого числа дорогостоящих искателей, используемых, к тому же, весьма неэффективно. Дело в том, что как показывает практика, одновременно ведут переговоры не более 20 из 100 абонентов станции. Следовательно, работают 20 ДШИ, а остальные 80, как правило, простаивают.

Для лучшего использования ДШИ их делают общими, т.е. представляют абонентам только на время разговоров. Это достигается введением в схему ступени предварительного искания (ПИ) для каждой АЛ (Рис. 8.14). С помощью ступени ПИ обеспечивается подключение АЛ к любому из свободных ЛИ. На ступени ПИ используются простые и сравнительно недорогие шаговые искатели. АЛ подключаются к щеткам ПИ и многократно к определенным ламелям (неподвижным контактам) контактного поля ЛИ. Станция на 100 номеров имеет 100 ПИ (ШИ) и 10 ЛИ (ДШИ).

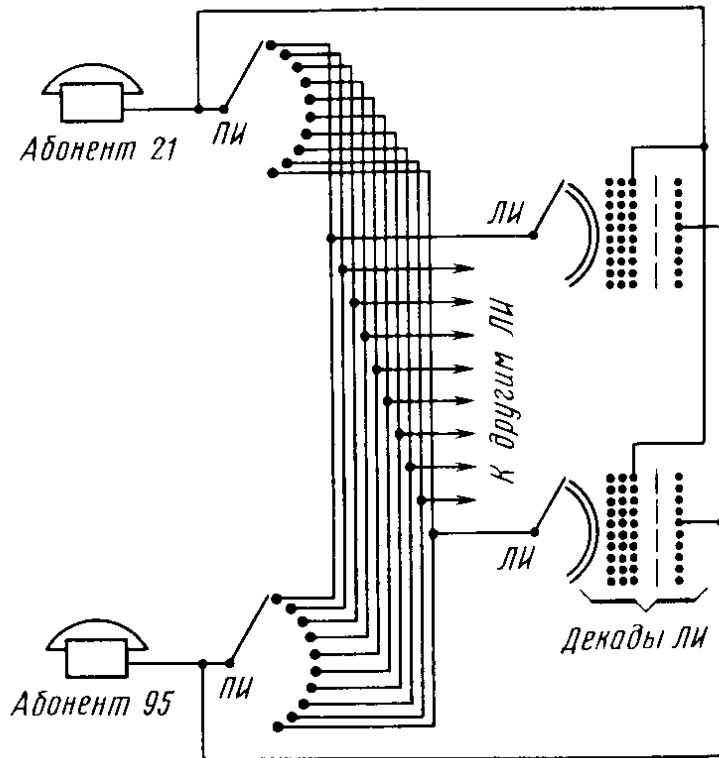


Рис. 8.14. Структурная схема декадно-шаговой АТС на 100 номеров со ступенью ПИ

При установлении соединения ПИ автоматически отыскивает и подключает свободный ЛИ к линии вызывающего абонента. Данный процесс называется свободным исканием. Поступающие от телефонного аппарата вызывающего абонента импульсы двухзначного номера управляют работой ДШИ, в результате устанавливается требуемое соединение.

Емкость рассмотренных АТС определяется емкостью контактного поля искателей. Однако увеличение емкости контактного поля искателей ограничены конструктивными сложностями и их стоимостью. Поэтому максимальная емкость реальных ДШИ не превышает 100 выходов.

Увеличение емкости декадно-шаговых АТС при заданной емкости искателей достигается за счет введения дополнительной ступени группового искания ГИ между ступенями ПИ и ЛИ. Сущность группообразования заключается в том, что общая емкость АТС делится на группы, емкость которых равна емкости контактных полей ЛИ. Ступень ГИ производит выбор группы, в которой находится линия вызываемого абонента. На ступени ГИ используются такие же искатели, что и на ступени ЛИ. Так емкость АТС на 1000 номеров делится на 10 групп по 100 линий в группе. Применяется трехзначная нумерация АЛ.

Для увеличения емкости АТС до 10 000 номеров необходимо введение второй ступени ГИ. В этом случае применяется четырехзначная нумерация АЛ. Упрощенные структурные схемы станций на 1000 и 10 000 номеров приведены на Рис. 8.15. Дальнейшее увеличение емкости АТС достигается введением третьей и четвертой ступеней группового искания.



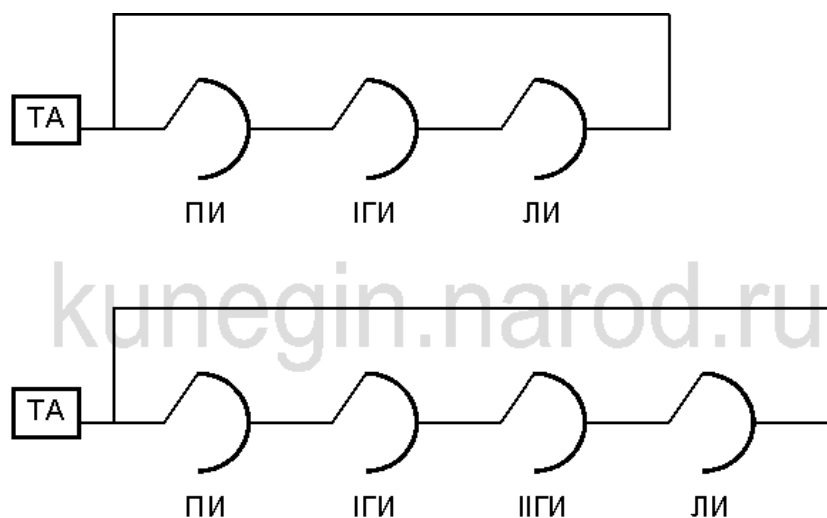


Рис. 8.15. Упрощенные структурные схемы АТС на 1000 и 10 000 номеров

Декадно-шаговые станции в настоящее время применяются как на местных, так и на международных телефонных сетях в качестве сельских, городских АТС и АМТС.

Коммутационные поля *координатных* АТС строятся на основе МКС, имеющем лучшие характеристики по сравнению с искателями. Основной особенностью построения коммутационного поля координатной АТС (АТСК) является применение звеньевоего принципа построения ступеней искания, позволяющего существенно экономить оборудование, необходимое для построения коммутационных систем.

Координатные АТС в настоящее время имеют наиболее широкое применение на всех участках ОАКТС.

В *квазиэлектронных* АТС (АТСКЭ) основой коммутационного поля являются матричные соединители МГС, построенные на герконовых реле. Из матричных соединителей путем звеньевоего включения создаются коммутационные блоки различной емкости. Коммутационные блоки АТСКЭ бывают двух типов: абонентских линий БАЛ и соединительных линий БСЛ. На АТСКЭ средней емкости (до 10 000 номеров) используют БАЛ на 1024 входа и 256 выходов. На АТСКЭ большей емкости используют БАЛ на 4096 входов и 1024 выхода. Блоки абонентских линий выполняют функции концентрации (сжатия) и смешивания исходящей абонентской нагрузки. Блоки соединительных линий предназначены для смешивания нагрузки, поэтому имеют число входов, равное числу выходов. Квазиэлектронные АТС средней емкости имеют БСЛ на 256 входов и 256 выходов, станции большой емкости - БСЛ на 1024 входа и 1024 выхода.

Коммутационные поля *электронных* АТС (АТСЭ) строятся с использованием способов пространственной и временной коммутации. Электронные коммутационные поля обладают на текущий момент наилучшими эксплуатационными показателями.

### 8.1.7. Управляющие устройства АТС

Процесс коммутации состоит из нескольких этапов, выполняемых в определенной последовательности на различных ступенях искания. На каждой ступени происходит электрическое соединение определенных входящих и исходящих линий коммутационных приборов. Для выполнения этой операции предварительно необходимо определить (найти): входящую линию, по которой поступил вызов, нужную исходящую линию и

убедиться, свободна ли последняя. Все эти операции осуществляются управляющими устройствами АТС.

Управляющее устройство (УУ) управляет процессом установления соединения на коммутационном узле путем взаимодействия с приборами коммутационного поля, линейными и станционными комплектами.

Основными функциями УУ являются:

- - прием сигналов управления от ЛК, СК и приборов КП;
- - распределение принятых сигналов по функциональным блокам УУ;
- - определение состояния коммутационных приборов и линий;
- - выбор соединительного пути между входом и выходом КП;
- - включение коммутационных приборов, соответствующих выбранному пути;
- - выдача команд на посылку абонентам акустических сигналов.

УУ могут быть индивидуальными и общими (групповыми). В первом случае каждое УУ обслуживает один коммутационный прибор и занимается на время установления соединения и ведения переговоров между абонентами. Во втором случае каждое УУ обслуживает в определенной последовательности группу коммутационных приборов. Такие УУ занимаются только на время установления соединения.

В зависимости от способа использования сигналов, несущих адресную информацию, различают УУ с непосредственным и регистровым (косвенным) управлением. Непосредственное управление применяется на АТС с индивидуальными УУ. В таких устройствах импульсы набора номера, посылаемые абонентами, непосредственно используются для работы коммутационных приборов. Процесс коммутации осуществляется одновременно с набором номера вызываемого абонента. Если АТС имеет несколько ступеней искания, то УУ разных ступеней работают последовательно по мере набора цифр номера.

При косвенном управлении импульсы набора номера запоминаются *регистром*. Проанализировав полученные импульсы, регистр формирует и передает сигналы на УУ всех ступеней искания, которые обеспечивают срабатывание коммутационных приборов. В результате будет установлено соединение. После этого регистр освобождается и может быть использован для обслуживания других вызовов. Косвенное управление может применяться как в индивидуальных, так и групповых УУ.

При регистровом управлении процесс приема импульсов набора номера вызываемого абонента и процесс установления соединений на ступенях искания разделены во времени. Регистр и управляющие устройства обслуживают вызовы с момента их появления до установления соединения. Чем меньше это время, т.е. чем выше быстродействие элементов управляющих устройств, тем большее число коммутационных приборов может быть обслужено.

Наибольшим быстродействием обладают УУ, реализованные на электронных элементах. Электронные УУ способны обслуживать сразу группу коммутационных приборов или даже всю коммутационную систему АТС. В последнем случае УУ станции состоит из периферийных управляющих устройств ПУУ и электронной управляющей машины ЭУМ (Рис. 8.16). ПУУ предназначены для приема импульсов набора номера, определения состояний абонентских и соединительных линий и т.п. Вся эта информация из ПУУ

передается в ЭУМ для анализа и выработки команд. Команды возвращаются на ПУУ и используются для управления работой коммутационных приборов.

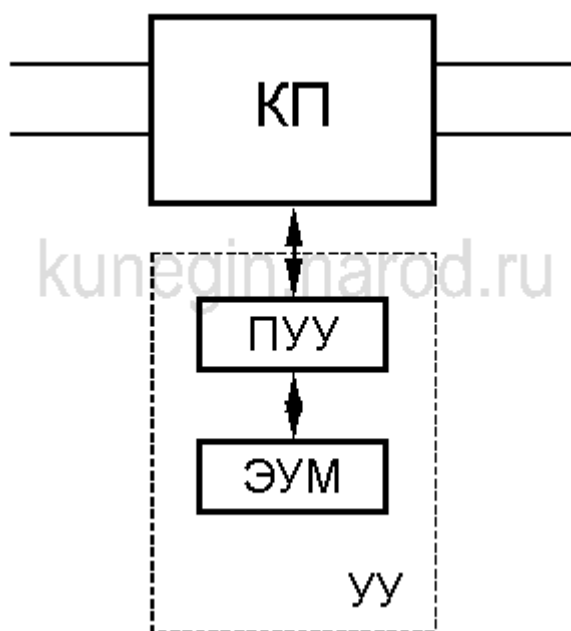


Рис. 8.16. Функциональная схема АТС с электронным управляющим устройством

Применение электронных УУ и ЭУМ не только многократно ускоряет процесс коммутации, но и значительно расширяет возможности станции, повышает эффективность использования станционных и линейных сооружений, делает сеть более гибкой и обеспечивает предоставление абонентам новых высококачественных услуг. Кроме того, ЭУМ позволяют автоматизировать учет переговоров, контроль за состоянием элементов станции, выявление неисправностей, сбор и обработку различных статистических данных и др. Электронные УУ используются в квазиэлектронных и электронных АТС.

### 8.1.8. Телефонная сигнализация

Совокупность электрических сигналов, используемых на сети для управления установлением соединения, называется системой телефонной сигнализации. Телефонной сигнализации посвящены Рекомендации МСЭ-Т серии Q.

В систему телефонной сигнализации обычно входят следующие виды сигналов.

Линейные сигналы отмечают основные этапы установления соединения (занятие, отбой, разъединение и др.).

Сигналы управления передаются между УУ коммутационных узлов и станций и между УУ и ТА абонента. Основные сигналы управления - сигналы набора номера, так называемая *адресная информация*. В ряде систем также передаются сигналы о категории вызова, запроса аппаратуры автоматического определения номера (АОН) вызываемого абонента при междугородной связи, виде устанавливаемых соединений, способе передачи управляющей информации и т.д.

Информационные акустические сигналы передаются от АТС к ТА и служат для информирования абонента о состоянии устанавливаемого соединения. К ним относятся:

- Ответ станции;
- Занято;
- Посылка вызова;
- Контроль посылки вызова.

В АТС с электронными УУ может передаваться сигнал предупреждения о междугородном вызове.

Состав сигналов системы сигнализации зависит от типа используемого коммутационного оборудования, типа используемых систем передачи, структуры сети и т.п.

Различают следующие основные типы систем сигнализации:

- системы абонентской сигнализации, которые определяют порядок обмена сигналами между абонентской установкой (телефонным аппаратом, факсом и т.п.) и АТС;
- системы межстанционной сигнализации, которые определяют порядок обмена сигналами между станциями. Для местных, внутрizonовых, междугородных и международных сетей используются различные системы межстанционной сигнализации.

### 8.1.8.1. Системы абонентской сигнализации

Как известно, оконечные абонентские установки телефонии (телефонные аппараты - ТА) подключаются к АТС с помощью двухпроводной абонентской линии. Отдельных проводов для целей сигнализации не предусматривается по экономическим соображениям. АЛ используется для передачи и речевых сигналов и сигнализации.

В настоящее время широко применяется передача линейных сигналов от абонента шлейфным методом (loop-start). Основные сигналы (занятие, ответ, отбой) формируются путем изменения сопротивления АЛ постоянному току.

Передача адресной информации (номера вызываемого абонента) может осуществляться двумя способами:

1. С помощью дискового номеронабирателя путем замыкания и размыкания шлейфа на короткое время (так называемый шлейфовый или импульсный способ набора - "pulse"). Количество циклов замыканий и размыканий соответствует передаваемой цифре плюс один стартовый цикл. Длительность одного цикла составляет 100 мс: 60 мс АЛ находится в замкнутом состоянии и 40 мс в разомкнутом.

Данный способ прост в технической реализации и широко распространен. Однако он является медленным и неудобным при необходимости набора номера значительной длительности (например, междугородного или международного).

2. Второй способ получил название многочастотного или тонального набора ("tone") и применяется в ТА с тактичными номеронабирателями. Передача каждой цифры осуществляется за 40 мс с помощью многочастотного кода "2 из 7", т.е. передаче одной цифры соответствует одновременная передача двух гармонических сигналов определенных частот (Табл. 8.1). Этот код обеспечивает 16 комбинаций сигнальных частот, 10 из которых используются для набора номера. Межсерийная пауза составляет

также 40 мс. В зарубежных источниках данный код обозначается как DTMF - Dual Tone Multi Frequency.

Табл. 8.1

		Частоты второй группы, Гц		
		1209	1336	1477
Частоты	697	1	2	3
первой	770	4	5	6
группы, Гц	852	7	8	9
	941	*	0	#

Клавиши \* и # используются для дополнительных услуг. Возможность посылки тональных сигналов абонентом используется для построения систем с удаленным управлением и речевым ответом типа речевой почты и т.п.

Типичный порядок обмена сигналами системы абонентской сигнализации показан на Рис. 8.17, а.

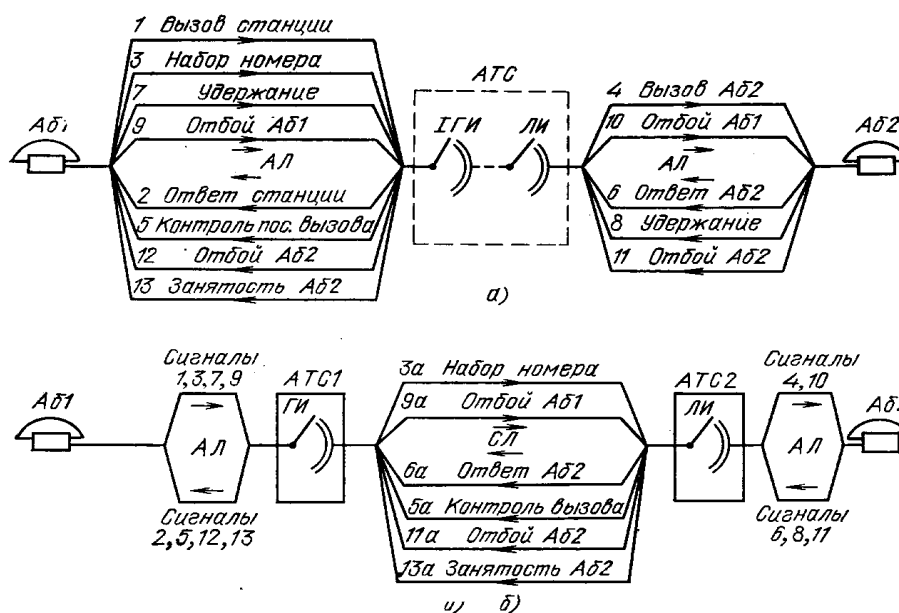


Рис. 8.17. Типичный порядок обмена сигналами систем абонентской (а) и межстанционной (б) сигнализации

### 8.1.8.2. Системы межстанционной сигнализации

В системах межстанционной телефонной сигнализации применяются следующие основные способы передачи линейных сигналов:

- по физическим двухпроводным цепям (в том числе АЛ) *шлейфным* методом (loop-start). Для взаимодействия АТС и учрежденческих АТС (УАТС) также применяются методы с *заземлением* (ground-start) и *Е&М* (от англ. ear и mouth). Метод Е&М использует отдельную пару проводов для передачи линейных сигналов;
- *частотный* метод по выделенному сигнальному каналу вне полосы частот канала ТЧ на частоте 3825 Гц при использовании аналоговых систем передачи с частотным разделением каналов;
- способом *наложения* по выделенному сигнальному каналу при использовании ЦСП.

Допускается применение *батареино*го способа по двух- и трехпроводным физическим цепям. На сельских телефонных сетях допускается *индуктивный* способ.

Для передачи сигналов управления применяются разные реализации *многочастотного* способа (Multi Frequency - MF). В основном используется код "2 из 7". В современных системах используются различные, но достаточно близкие номиналы частот в полосе канала ТЧ. Международные системы сигнализации R1 и R2 используют частоты с интервалом 120 Гц в диапазоне 1380..1980 Гц в прямом и 540..1140 Гц в обратном направлении (MF-R1 и MF-R2). Широко применяемая на ОАТС система сигнализации использует частоты в диапазоне от 700 до 1700 Гц с шагом 200 Гц. При работе с АТСДШ используется шлейфный способ передачи по двухпроводным АЛ и СЛ и батарейный по СЛ.

Типичный порядок обмена сигналами систем межстанционной сигнализации при установлении телефонного соединения показан на Рис. 8.17, б.

Все рассмотренные выше системы сигнализации исторически возникли первыми и относятся к классу так называемых внутриканальных (in-band), поскольку вся сигнализация осуществляется по тому же каналу, по которому ведется передача информации пользователя.

В результате развития систем коммутации появился класс систем сигнализации по общему каналу сигнализации (ОКС), непосредственно связывающему управляющие устройства АТС. Первая система подобного класса - *система сигнализации № 6 МСЭ-Т* предназначалась для передачи всех видов управляющей информации по каналам ТЧ аналоговых систем передачи на скоростях 2,4..4,8 кбит/с. Система обладала хорошими эксплуатационными параметрами и получила широкое распространение в Европе, Японии и особенно в США, где она эксплуатируется до сих пор.

Появление и быстрое внедрение ЦСП предопределило появление *системы сигнализации № 7 МСЭ-Т (SS7)*, ориентированной на применение в цифровых сетях. Один канал SS7 со скоростью 64 кбит/с позволяет передавать сигнальную информацию для пучка из одной-двух тысяч (!) каналов ТЧ.

Обладая огромным потенциалом, SS7 не только обеспечила потребности передачи сигнальной информации для существовавшего в момент ее появления уровня развития связи, но и способствовала созданию новых услуг связи.

По существу SS7 образует сеть передачи данных - сеть сигнализации, при этом все сигналы собираются в пакеты и снабжаются заголовком, устанавливающим принадлежность каждого из сигналов определенному каналу ТЧ.

### 8.1.8.3. Принцип работы телефонных аппаратов с автоматическим определением номера вызывающего абонента

Появившиеся в конце 80-ых годов телефонные аппараты, выполненные на основе недорогих микропроцессорных комплектов (Intel 8080, 8085, Z80 и т.п.), быстро завоевали популярность у абонентов благодаря предоставлению услуги автоматического определения номера вызывающего абонента.

Для уяснения принципа действия таких аппаратов рассмотрим подробнее процесс обмена сигналами при установлении междугородного (международного) соединения на ОАКТС.

Как известно, оплата междугородного (международного) переговора ведется по принципу учета продолжительности переговора, и оплату переговора осуществляет вызывающий абонент. Для определения номера вызывающего абонента (с целью последующего учета длительности переговора и начисления стоимости переговора) городские АТС и автоматические междугородные телефонные станции АМТС оборудуются соответствующей аппаратурой. Собственно аппаратура автоматического определения номера (АОН) устанавливается на городских АТС.

При установлении междугородного (международного) соединения (Рис. 8.18) вызывающий абонент городской АТС набирает код выхода на междугородную сеть "8", в результате чего устанавливается соединение между АТС и АМТС по соединительной линии СЛ. АМТС посылает АТС сигнал запроса номера вызывающего абонента. АТС с помощью аппаратуры АОН определяет номер абонентской линии, требующей установления междугородного соединения, и многочастотным кодом "2 из 6" передает АМТС ее номер. АМТС оборудована приемниками данного кода и фиксирует его. При необходимости (в случае обнаружения ошибок) АМТС может повторить запрос (до трех раз). В случае успешной фиксации номера вызывающего абонента, ему передается сигнал готовности АМТС ("длинный гудок") и абонент набирает необходимый код страны, города и номер вызываемого абонента. После установления соединения (ответа вызываемого абонента) включается счетчик продолжительности переговора.

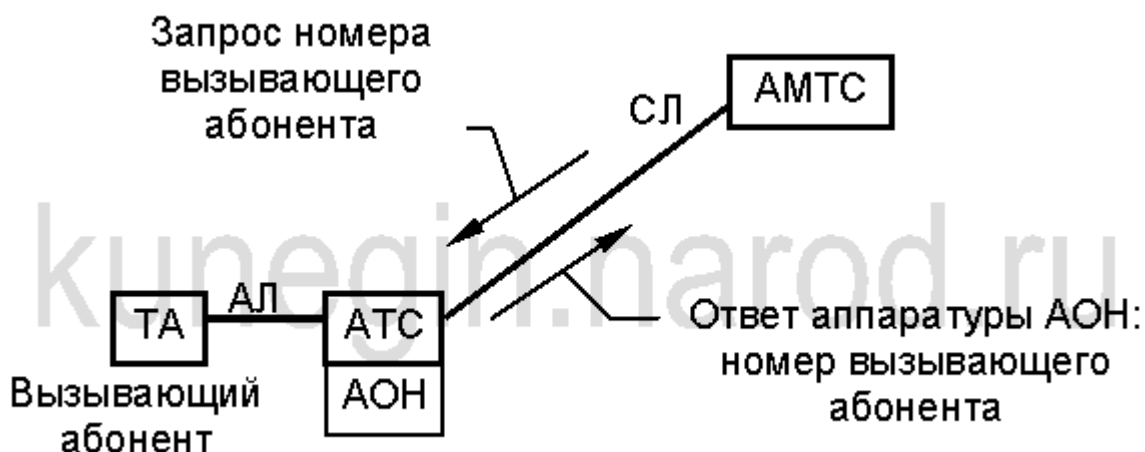


Рис. 8.18. Обмен сигналами между АТС и АМТС при установлении междугородного соединения

Рассмотрим процесс обмена сигналами при наличии у одного из абонентов телефонного аппарата с автоматическим определением номера вызывающего абонента (Рис. 8.19). Пусть вызывающий абонент (назовем его А) имеет обычный телефонный аппарат, а

вызываемый абонент (назовем его Б) имеет телефонный аппарат с автоматическим определением номера вызывающего абонента.

При поступлении вызова от абонента А телефонный аппарат абонента Б посылает запрос аппаратуре АОН, расположенной на АТС абонента А. АТС абонента А считает, что данный запрос поступил от АМТС, и обрабатывает его обычным образом, выдавая в СЛ, с которой поступил запрос, номер вызывающего абонента многочастотным кодом. ТА абонента Б оборудован приемником многочастотного кода "2 из 6". Принятый код преобразуется в обычные десятичные цифры, которые отображаются на дисплее аппарата абонента Б в виде номера абонента А.

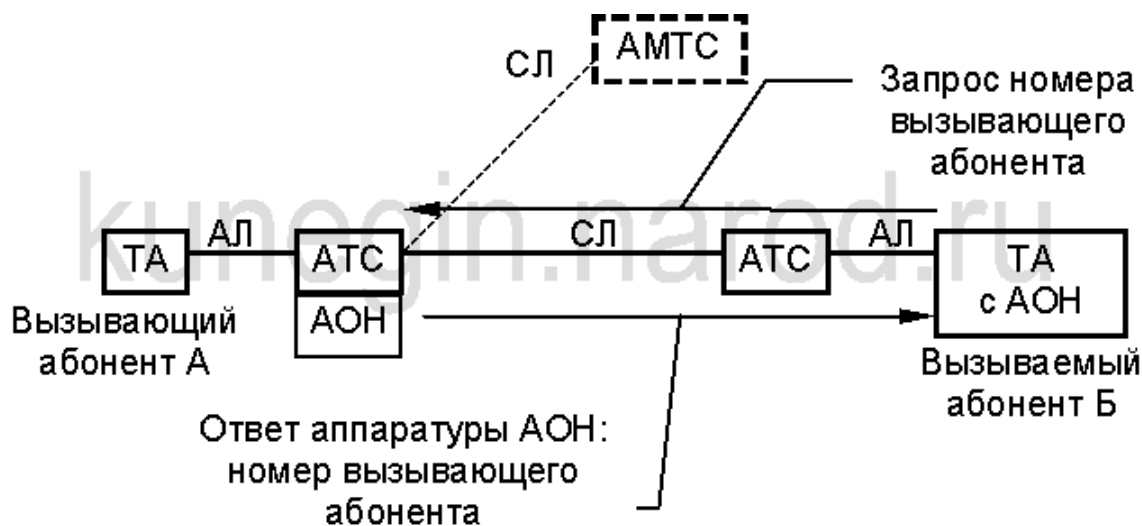


Рис. 8.19. Обмен сигналами при наличии у вызываемого абонента телефонного аппарата с автоматическим определением номера вызывающего абонента

Обычно процесс определения номера вызывающего абонента протекает достаточно быстро (от долей до единиц секунд).

Из принципа действия аппаратов с автоматическим определением номера вызывающего абонента ясно, что может быть определен номер только того вызывающего абонента, АТС которого оборудована аппаратурой АОН. На Московской городской телефонной сети (МГТС) практически все автоматические телефонные станции оборудованы аппаратурой АОН.

Широкое распространение телефонных аппаратов с автоматическим определением номера вызывающего абонента нежелательно. Это объясняется тем, что аппаратура АОН АТС была рассчитана на обслуживание относительно малой нагрузки междугородных (международных) вызовов. Резкое возрастание нагрузки на данную аппаратуру при обслуживании внутригородских вызовов может привести к отказам в предоставлении междугородного переговора ввиду занятости аппаратуры АОН, что, конечно, недопустимо.

Надежность определения номера в значительной мере зависит от качества реализации приемника многочастотного кода (что не всегда достижимо ввиду малой производительности дешевых микропроцессоров), а также от качества соединительных и абонентских линий.



Рассмотренные телефонные аппараты наряду с функциями автоматического определения номера вызывающего абонента предоставляют абонентам также ряд дополнительных услуг, таких как будильник, записная книжка и пр.

## 8.2. Цифровая обработка аналоговых сигналов

Формирование цифрового сигнала из аналогового предусматривает последовательное выполнение трех основных операций:

- дискретизация аналогового сигнала по времени, в результате чего формируется импульсный сигнал, промодулированный по амплитуде, т.е. АИМ-сигнал;
- квантование АИМ-сигнала по уровню;
- кодирование отсчетов АИМ-сигнала.

В цифровых системах передачи (ЦСП) формируется групповой цифровой сигнал, иначе называемый сигналом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). При формировании группового ИКМ-сигнала добавляется еще одна операция: перед квантованием по уровню производится объединение индивидуальных АИМ-сигналов (Рис. 8.20).

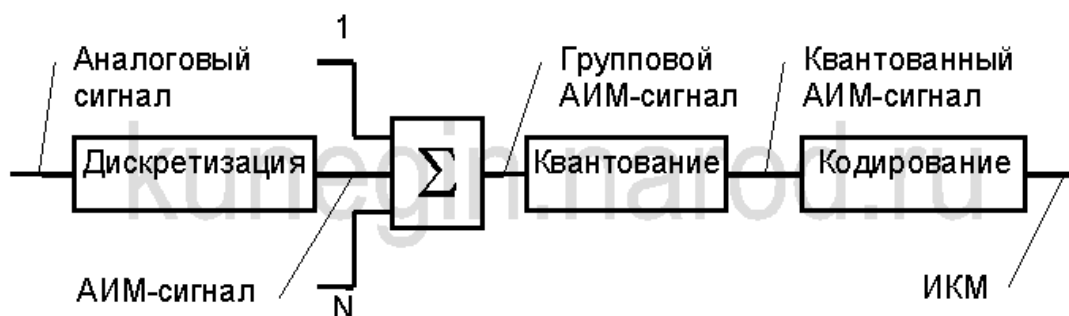


Рис. 8.20. Преобразование аналогового сигнала в цифровой ИКМ-сигнал

Преобразование ИКМ-сигнала в аналоговый предусматривает последовательное выполнение основных операций:

- декодирование (преобразование ИКМ-сигнала в АИМ);
- восстановление аналогового сигнала (выделение из спектра АИМ-сигнала исходного сигнала).

В ЦСП соответствующие операции обработки производятся отдельными устройствами. Операции квантования и кодирования в ЦСП обычно объединяют в одном устройстве.

### 8.2.1 Дискретизация сигнала во времени

В процессе формирования АИМ сигнала осуществляется дискретизация непрерывного (аналогового) сигнала во времени в соответствии с известной теоремой дискретизации (теоремой В.А.Котельникова): любой непрерывный сигнал, ограниченный по спектру верхней частотой  $F_B$  полностью определяется последовательностью своих дискретных отсчетов, взятых через промежуток времени  $T_d=1/2 F_B$ , называемый периодом дискретизации. В соответствии с им частота дискретизации, т.е. следования дискретных отсчетов, выбирается из условия  $F_d \geq 2F_B$ .

Поскольку все реально существующие непрерывные сигналы связи представляют собой случайные процессы с бесконечно широким спектром, причем основная энергия сосредоточена в относительно узкой полосе частот, перед дискретизацией необходимо с помощью фильтра нижних частот ограничить спектр сигнала некоторой частотой  $F_B$ . Для телефонных сигналов необходимо использовать ФНЧ с частотой среза  $F_B=3,4$  кГц. Частота дискретизации для телефонных сигналов выбрана равной 8 кГц.

Устройство, выполняющее дискретизацию во времени, называют устройством выборки и хранения (УВХ) (Рис. 8.21). УВХ могут выпускаться в интегральном исполнении. Вид сигналов в точках 1, 2 и 3 УВХ показан, соответственно, на Рис. 8.22, Рис. 8.23 и Рис. 8.24.

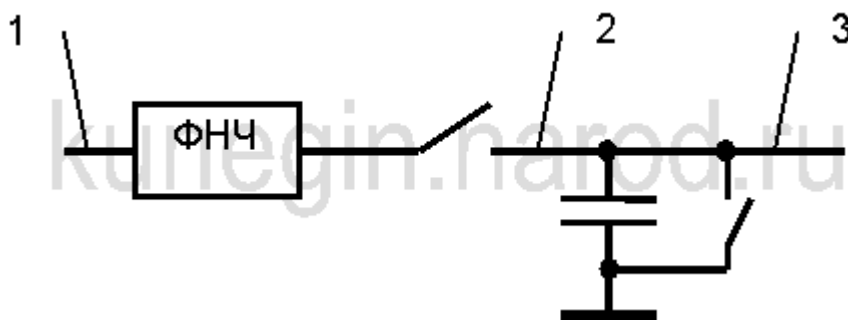


Рис. 8.21. Устройство выборки и хранения

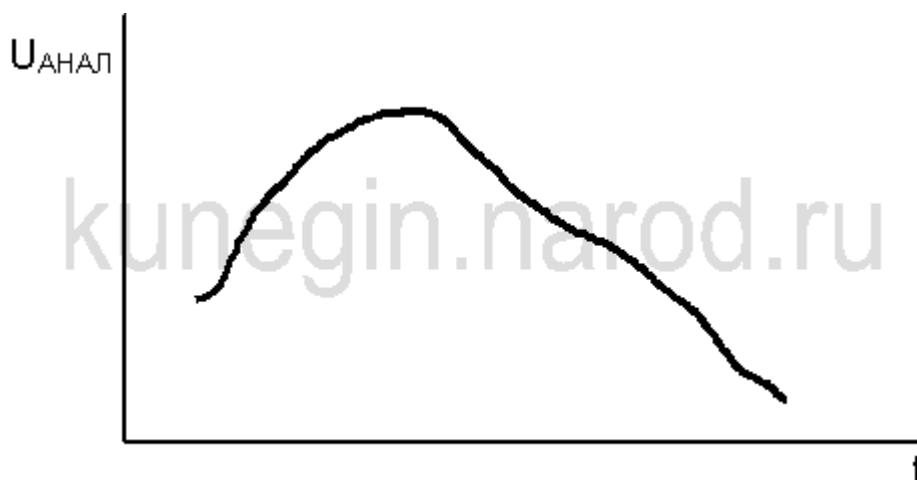


Рис. 8.22. Аналоговый сигнал

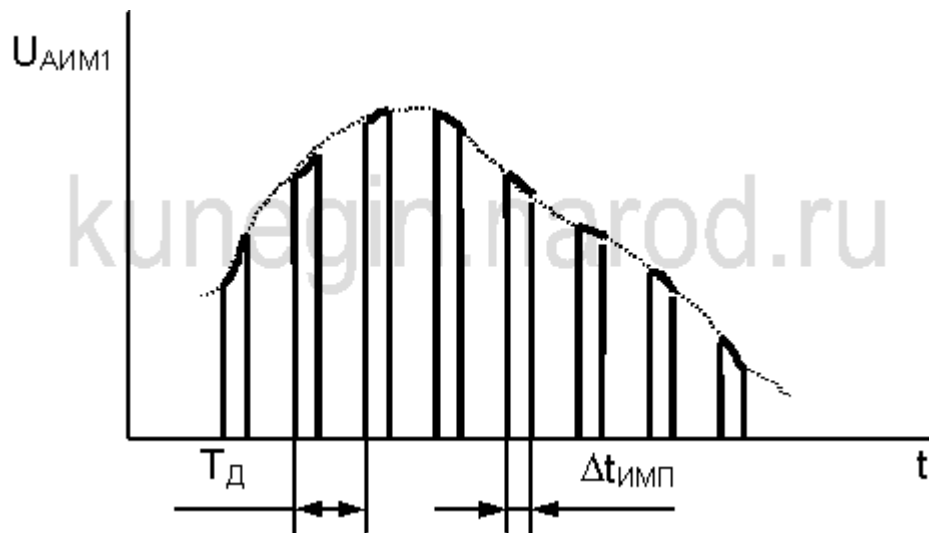


Рис. 8.23. Сигнал АИМ1

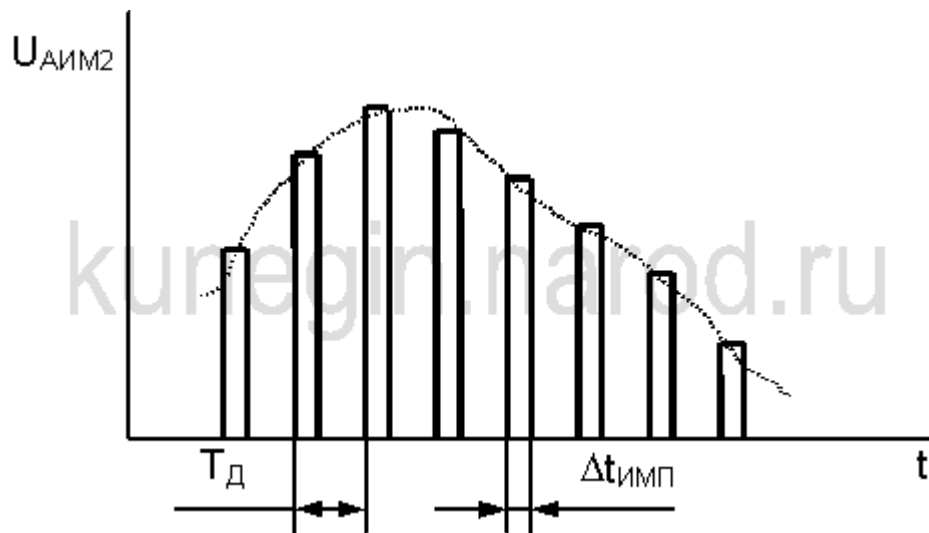


Рис. 8.24. Сигнал АИМ2

### 8.2.2. Квантование мгновенных значений сигнала

В процессе квантования по уровню значение каждого АИМ-отсчета заменяется ближайшим разрешенным значением.

Характеристиками квантующего устройства являются следующие:

- число уровней квантования  $N_{\text{КВ}}$ ;
- шаг квантования  $\delta$  - разность между двумя соседними разрешенными уровнями;
- напряжение ограничения  $U_{\text{ОГР}}$  - максимальное значение амплитуды отсчета, подвергаемого квантованию.

Если  $\delta = \text{const}$ , то квантование называют равномерным. Амплитудная характеристика равномерного квантователя показана на Рис. 8.25.

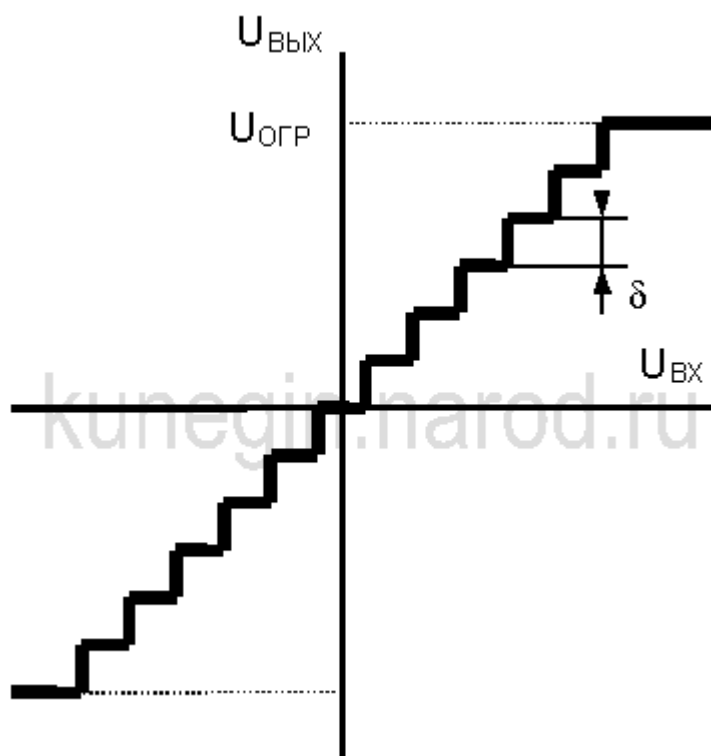


Рис. 8.25. Амплитудная характеристика равномерного квантователя

Ошибка квантования - разность между истинным значением отсчета и его квантованным значением. При равномерном квантовании величина ошибки квантования не превышает половины шага квантования.

При квантовании возникает так называемый шум квантования, мощность которого определяется выражением  $P_{ш.кв} = \delta^2 / 12$ . Защищенность от шумов квантования определяется как  $A_{з.кв} = 10 \lg(P_c / P_{ш.кв})$ .

Если входное напряжение выше порогового, на выходе квантователя формируются отсчеты с амплитудой  $U_{огр}$  - такой режим работы квантователя называется перегрузкой. При этом возникают шумы ограничения, мощность которых значительно превышает мощность шумов квантования. Необходимо применять специальные меры, предотвращающие перегрузку квантователя.

Недостатком равномерного квантования является меньшая защищенность от шумов квантования малых уровней сигнала.

Для обеспечения  $A_{з.кв}$  не менее 30 дБ во всем динамическом диапазоне речевого сигнала требуется  $2^{12} = 4096$  уровней квантования.

Большое число разрядов в коде ( $m=12$ ) при равномерном квантовании приводит к усложнению аппаратуры и неоправданному увеличению тактовой частоты. Устранить указанный существенный недостаток можно, осуществляя неравномерное квантование, которое используется в современных ЦСП. Сущность неравномерного квантования заключается в следующем. Для малых значений сигналов шаг квантования выбирается минимальным и постепенно увеличивается, достигая максимального для больших значений сигналов. Амплитудная характеристика неравномерного квантователя показана на Рис. 8.26.

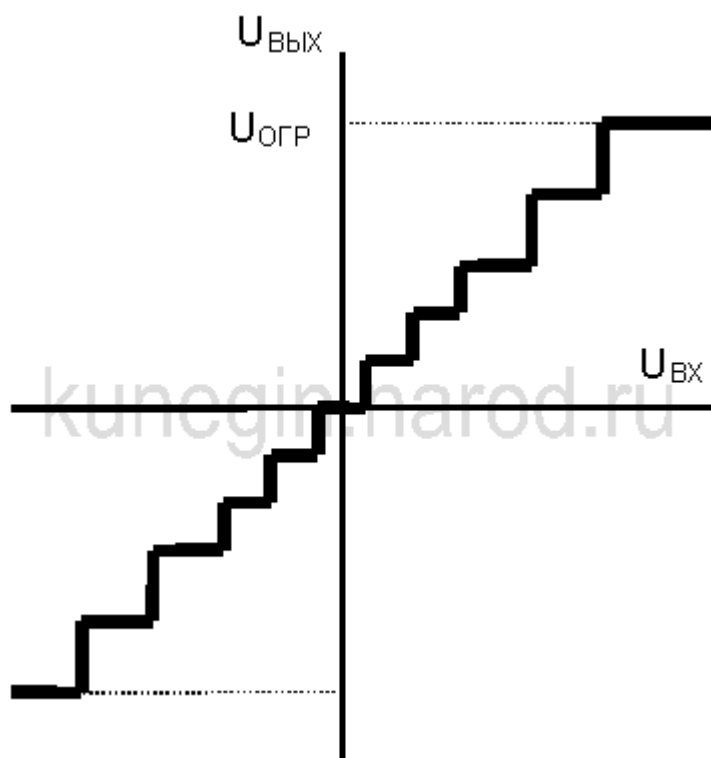


Рис. 8.26. Амплитудная характеристика неравномерного квантователя

При этом для слабых сигналов  $P_{ш.кв}$  уменьшается, а для сильных - возрастает, что приводит к увеличению  $A_{з.кв}$  для слабых сигналов и снижению  $A_{з.кв}$  - для сильных, которые имели большой запас по помехозащищенности. В результате удается снизить разрядность кода до  $m=8$  ( $N_{кв}=256$ ), обеспечив при этом выполнение требований к защищенности от шумов квантования в широком динамическом диапазоне сигнала  $D_c$ , составляющем около 40 дБ. Таким образом происходит выравнивание  $A_{з.кв}$  в широком диапазоне изменения уровней сигнала.

Эффект неравномерного квантования может быть получен с помощью сжатия динамического диапазона сигнала с последующим равномерным квантованием. Сжатие динамического диапазона сигнала осуществляется с помощью *компрессора*, обладающего нелинейной амплитудной характеристикой. Чем большей нелинейностью обладает компрессор, тем больший выигрыш может быть получен для слабых сигналов.

Для восстановления исходного динамического диапазона сигнала на приеме необходимо установить *экспандер* (расширитель), амплитудная характеристика которого должна быть обратной амплитудной характеристике компрессора. Таким образом, результирующая (суммарная) амплитудная характеристика цепи компрессор-экспандер (*компандер*), должна быть линейной во избежание нелинейных искажений передаваемых сигналов.

В современных ЦСП находят применение две логарифмические характеристики компандирования (типов  $A$  и  $\mu$ ), которые удобно изображать и описывать в нормированном виде  $y=f(x)$ , где  $y = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ОГР}}$ ,  $x = U_{\text{ВХ}}/U_{\text{ОГР}}$ :

$$y = \begin{cases} \frac{A|x|}{1 + \ln A}; & 0 \leq |x| \leq 1/A \\ \frac{1 + \ln(A|x|)}{1 + \ln A}; & 1/A < |x| \leq 1 \end{cases}$$

$$y = \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)}, 0 \leq |x| \leq 1$$

где  $A=87,6$  и  $\mu=255$  - параметры компрессии.

Характеристика компандирования типа А используется в ЦСП, соответствующих европейской ПЦИ, а типа  $\mu$  - в ЦСП, соответствующих североамериканской ПЦИ.

### 8.2.3. Кодирование и декодирование сигналов

В процессе кодирования амплитуда каждого квантованного по уровню АИМ отсчета представляется в виде двоичной последовательности, содержащей  $m$  символов.

Как говорилось выше, для качественной передачи телефонного сигнала при равномерном и неравномерном квантовании нужно иметь соответственно 4096 и 256 уровней квантования, т.е. необходимо использовать 12- и 8-разрядный двоичный код.

Линейным кодированием называется кодирование равномерно квантованного сигнала, а нелинейным - неравномерно квантованного сигнала.

Код, формируемый в кодере, называется параллельным, если импульсные сигналы (1 и 0), входящие в состав  $m$ -разрядной кодовой группы, появляются на разных выходах кодера одновременно, причем каждому выходу кодера соответствует сигнал определенного разряда. Код называется последовательным, если все сигналы, входящие в состав  $m$ -разрядной кодовой группы, появляются на одном выходе кодера поочередно со сдвигом по времени (обычно начиная со старшего по весу разряда). Параллельный код может преобразовываться в последовательный и наоборот.

Часто функции квантования и кодирования (соответственно декодирования и деквантования) выполняет одно устройство.

При кодировании с неравномерной шкалой квантования могут использоваться следующие способы:

- *аналоговое компандирование*, характеризующееся компрессией (сжатием) динамического диапазона сигнала перед линейным кодированием, и экспандированием (расширением) динамического диапазона сигнала после линейного декодирования;
- *нелинейное кодирование*, характеризующееся кодированием сигнала в нелинейных кодерах, сочетающих функции аналого-цифрового преобразования и компрессора;
- *цифровое компандирование*, характеризующееся кодированием сигнала в линейном кодере с большим числом разрядов с последующей нелинейной цифровой обработкой результата кодирования.

На практике наиболее часто используется нелинейное кодирование.

При частоте дискретизации  $F_d=8\text{кГц}$  ( $T_d=125\text{ мкс}$ ) и разрядности кода  $m=8$  получаем скорость передачи сформированного ИКМ-сигнала 64 кбит/с, которая и является скоростью основного цифрового канала (ОЦК). Преобразование аналогового сигнала в сигнал ИКМ стандартизировано МСЭ-Т Рекомендацией G-711.

Устройства, в целом выполняющие преобразования аналоговых сигналов в цифровые и обратно, называются, соответственно, *аналого-цифровыми (АЦП) и цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП)*.

Примеры построения ЦАП и АЦП приведены на Рис. 8.27 и Рис. 8.28 соответственно.

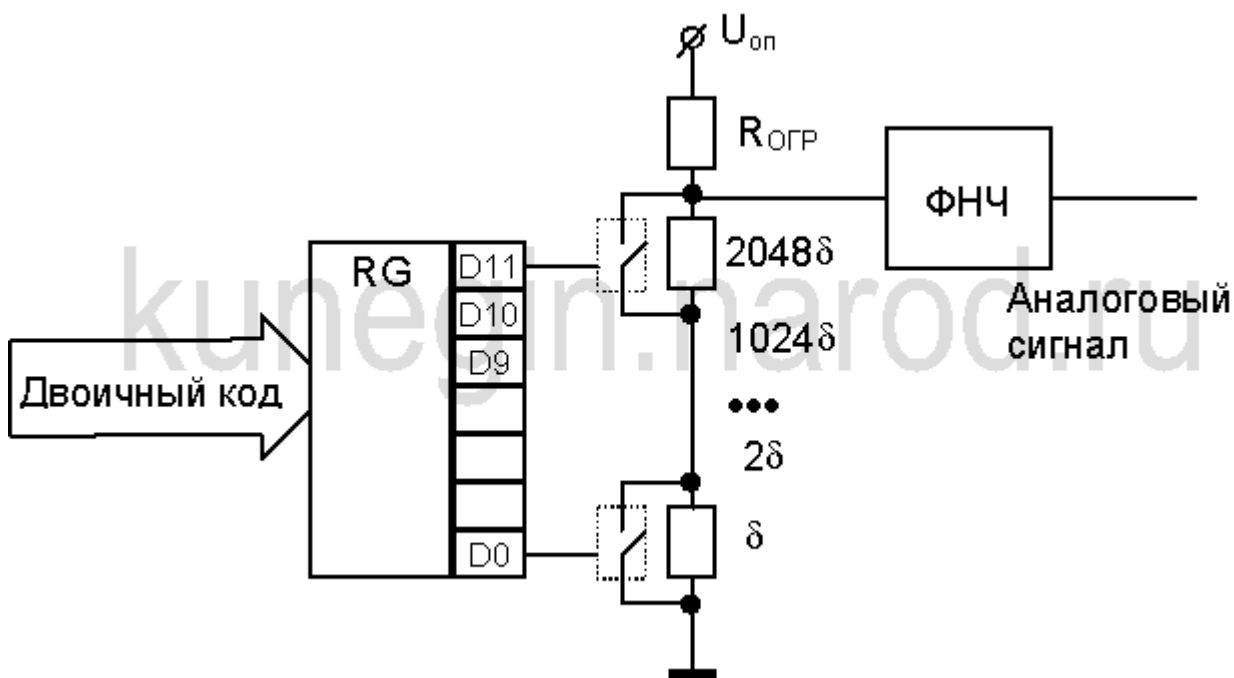


Рис. 8.27. Структурная схема ЦАП

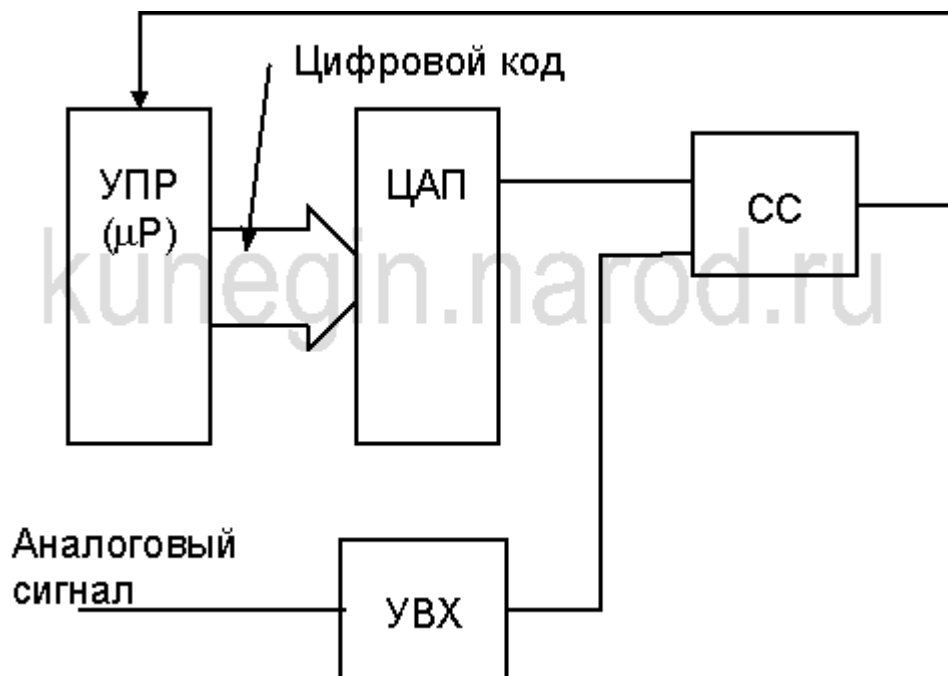


Рис. 8.28. Структурная схема АЦП

#### 8.2.4. Методы разностного квантования аналоговых сигналов

Между соседними отсчетами речевого сигнала имеется значительная корреляция, которая слабо убывает по мере увеличения интервала между отсчетами. Это означает, что речевой

сигнал изменяется медленно и разность между соседними отсчетами будет иметь меньшую дисперсию, чем исходный сигнал, что позволяет применять методы разностного квантования речевого сигнала (Рис. 8.29), где  $z$  - входной сигнал;  $\tilde{z}$  - оценка предсказанного значения входного сигнала;  $z$  - квантованный входной сигнал;  $d$  - ошибка предсказания;  $d$  - квантованная ошибка предсказания;  $e$  - ошибка квантования;

$$d = z - \tilde{z}; z = \tilde{z} + d. \text{ Учитывая, что } d = d + e \text{ и } d = z - \tilde{z} \text{ получим } z = \tilde{z} + e$$

Линейная дельта-модуляция (Рис. 8.30) использует одноразрядный (двухуровневый) квантователь и предсказатель 1 порядка  $\tilde{z}(k) = z(k-1) + d(k)$ .

При этом входной сигнал квантователя имеет вид  $d(k) = z(k) - \tilde{z}(k-1) = z(k) - z(k-1) - e(k-1)$ .

Восстановление аналогового сигнала из сигнала линейной ДМ осуществляется суммированием шага квантования.

Линейная ДМ технически реализуется относительно просто, но обладает рядом недостатков:

- перегрузка по крутизне;
- шум дробления (шум незанятого канала).

Кроме того, для обеспечения приемлемого качества восстановления речевого сигнала требуется высокая скорость преобразования (передачи) - порядка 200 кбит/с.

Адаптивная ДМ. Шаг квантования меняется в зависимости от крутизны исходного сигнала от минимального до максимального значения. Возможны различные схемы (алгоритмы) адаптивной модуляции. Отслеживается выходной поток квантователя - при чередовании 0 и 1 шаг уменьшается, при последовательных 0 или 1 шаг увеличивается. Данный вид модуляции не получил широкого применения.

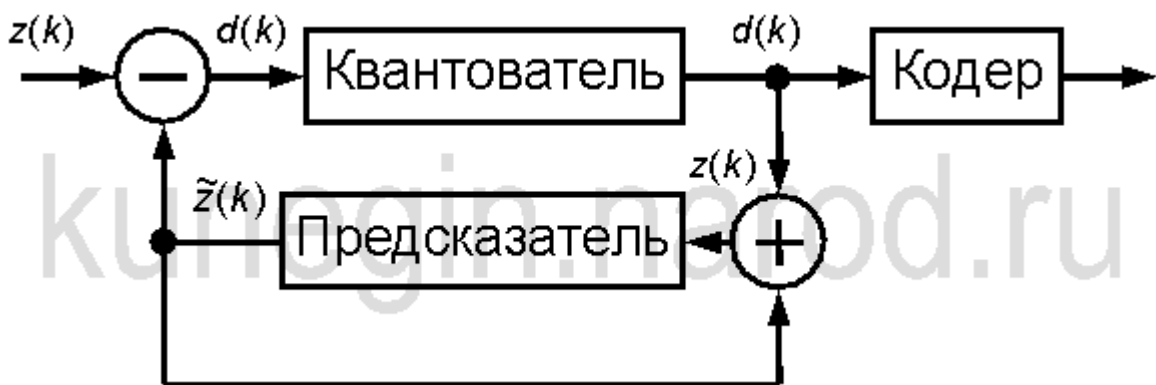


Рис. 8.29. Структурная схема кодера разностного квантования



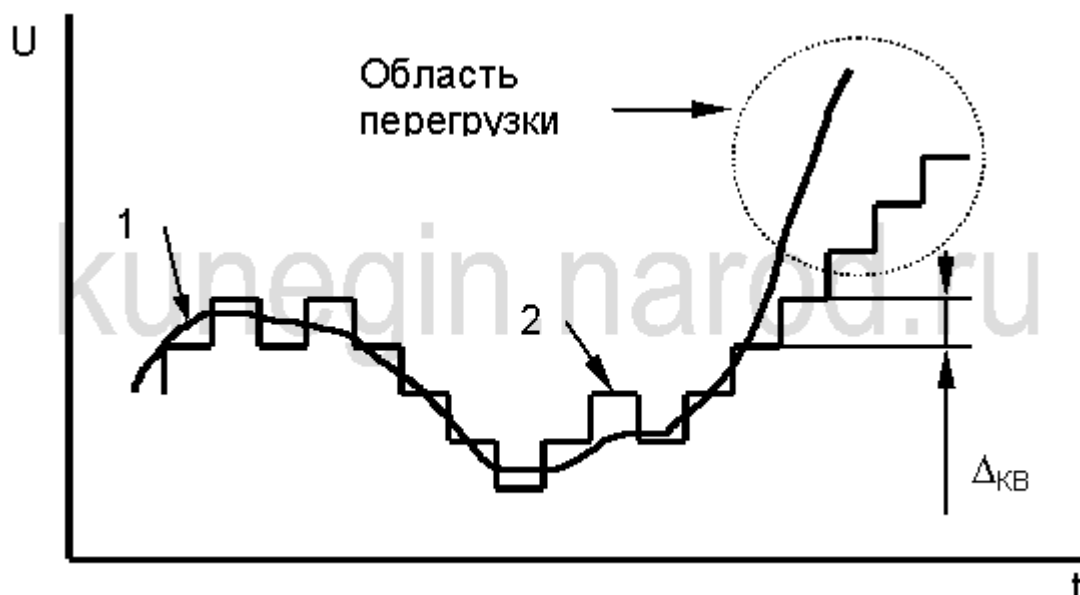


Рис. 8.30. Линейная дельта-модуляция: аналоговый сигнал (кривая 1) и сигнал квантователя линейной ДМ (кривая 2)

Дальнейшим развитием систем разностного квантования является адаптивная дифференциальная ИКМ. Методы адаптации распространяются как на квантователь, так и на предсказатель. Осуществляется передача цифровых представлений адаптивного шага и коэффициентов предсказателя. Удовлетворительные результаты при скорости передачи 32 и 24 кбит/с. МСЭ-Т стандартизировал данный вид модуляции в Рекомендации G.726 для скорости передачи 32 кбит/с.

### 8.2.5. Параметрическое компандирование речевых сигналов

Речевой сигнал, как процесс, протекающий во времени, характеризуется рядом параметров, которые также являются функциями времени. Параметры, описывающие речевой сигнал, изменяются значительно медленнее, чем процесс в целом. Если по каналу связи передавать не сам речевой сигнал, а информацию об описывающих его параметрах, то для этого потребуется канал связи с меньшей пропускной способностью.

Если речевой сигнал представлен в виде совокупности медленно меняющихся параметров, то говорят о его параметрическом компандировании. На базе параметрического компандирования строятся вокодерные системы (voice coder). Обычно к параметрическим (вокодерным) относят системы, требующие скорости передачи меньше 16 кбит/с.

Выделение и кодирование параметров речевых сигналов требует применения сложных алгоритмов цифровой обработки сигналов. Обычно, для обеспечения меньшей скорости передачи требуется применение более сложных алгоритмов, т.е. более производительных процессоров.

Для обеспечения совместимости вокодерных устройств организациями стандартизации в области телекоммуникаций установлен ряд стандартов (Табл. 8.2).

Метод кодирования	Скорость передачи, кбит/с	Стандарт	Современные приложения
ИКМ	64	МСЭ-Т G.711	Телефонные сети общего пользования
АДИКМ	32	МСЭ-Т G.726	Телефонные сети общего пользования
LD-CELP	16	МСЭ-Т G.728	Телефонные сети общего пользования
RPE-LTP	13	ETSI GSM	Европейские системы цифровой сотовой связи
VSELP	8	TIA IS54	Системы цифровой сотовой связи США
VSELP	5,6	ETSI полускоростной GSM	Европейские системы цифровой сотовой связи
MP-MLQ	4.8..8.0	МСЭ-Т G.723	Системы мультимедиа и видео телефонии

Качество передачи сигнала методами параметрического компандирования зависит как от вида применяемого алгоритма, так и используемой скорости передачи. Оценка качества передачи речевого сигнала оценивается различными субъективными методами, основанными на усреднении оценок, данных различными группами слушателей. Зависимость средней субъективной оценки (mean opinion score - MOS) от вида алгоритма и скорости передачи показаны на Рис. 8.31.

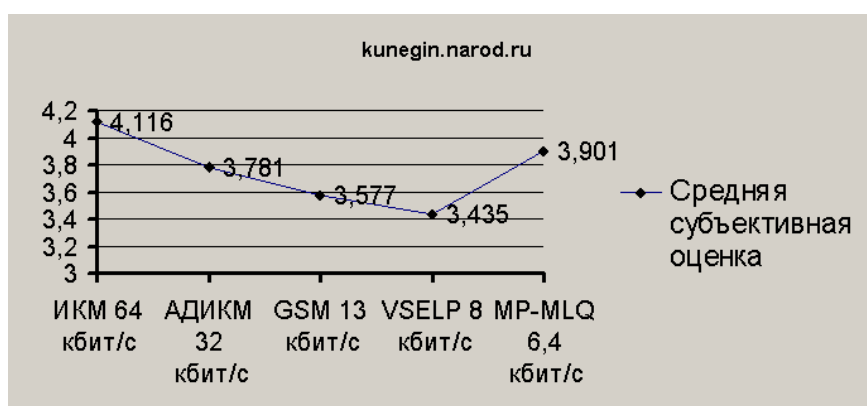


Рис. 8.31. Зависимость средней субъективной оценки (mean opinion score - MOS) от вида алгоритма и скорости передачи

### 8.3. Применение телефонных сетей для передачи данных

### 8.3.1. Общие положения

Устройством, обеспечивающим возможность передачи данных посредством телефонных сетей, в том числе и через ОАКТС, является модем. При необходимости передачи данных на телефонной сети устанавливается обычное соединение, а затем осуществляется собственно передача данных посредством модемов.

Основные характеристики модемов определяются Рекомендациями МСЭ-Т серии V, также называемые модемными протоколами физического или канального уровня.

Прежде чем рассматривать конкретные Рекомендации, рассмотрим приводимые в них основные характеристики и параметры модемов.

Основным параметром модема является обеспечиваемая скорость передачи данных. Ограниченность эффективно пропускаемой полосы частот (ЭППЧ) канала ТЧ (3100 Гц) является основной преградой в использовании телефонной сети для высокоскоростной передачи данных. Скорость передачи информации по каналу с ЭППЧ не может превосходить ее ширины, т.е. 3100 бод в случае канала ТЧ. Но как же тогда быть с модемами, передающими информацию со скоростями 14400, 28800 бит/с и даже больше? Ответ напрашивается сам: бод и бит/с не одно и то же.

Напомним, что модуляция (см. подраздел 6.1.1) состоит в изменении одного из параметров (амплитуды, частоты или фазы) несущей или совместно нескольких параметров в зависимости от значений информационных бит.

На временной диаграмме несущего сигнала можно выделить равные по длительности отрезки времени, на которых несущий сигнал имеет определенные постоянные значения своих параметров. Эти отрезки времени называют бодовыми интервалами. Число бодовых интервалов в единицу времени определяет модуляционную скорость (еще ее называют линейной или бодовой). Модуляционная скорость измеряется в бодах.

Если кодируемый элемент соответствует одному биту информации (0 или 1), то на бодовом интервале параметры сигнала соответственно могут принимать одну из двух определенных совокупностей значений амплитуды, частоты и фазы. В этом случае модуляционная скорость равна информационной, т.е. 1 бод = 1 бит/с. Кодируемый элемент может соответствовать не одному, а, например, двум битам информации. В этом случае информационная скорость будет вдвое превосходить бодовую, а параметры сигнала на бодовом интервале могут принимать одну из четырех совокупностей значений, соответствующих 00, 01, 10 или 11.

Если на бодовом интервале кодируется N бит, то информационная скорость будет превосходить бодовую в N раз. Количество возможных состояний сигнала в трехмерном пространстве - амплитуда, частота, фаза - будет равно  $2^N$ . Это значит, что демодулятор модема, получив на бодовом интервале некий сигнал, должен будет сравнить его с  $2^N$  эталонными сигналами и безошибочно выбрать один из них для декодирования искомого N бит. С увеличением емкости кодирования и ростом информационной скорости относительно бодовой, расстояние в сигнальном пространстве между двумя соседними точками сокращается в степенной прогрессии. А это, в свою очередь, накладывает все более жесткие требования к качеству канала. Теоретически возможная скорость в реальном канале определяется формулой Шеннона:

$$V = \Delta F \cdot \log_2(1 + \rho)$$

где  $\Delta F$  - ширина полосы пропускания канала,  $\rho$  - отношение мощности сигнала к мощности шума.

Второй сомножитель определяет возможности канала с точки зрения его зашумленности по достоверной передаче сигнала, несущего не один бит информации в бодовом интервале. Так, например, если отношение сигнал/шум соответствует 20 дБ, т.е. мощность сигнала, доходящего до удаленного модема, в 100 раз превосходит мощность шума ( $\rho = 100$ ), и используется полная полоса канала тональной частоты (3100 Гц), максимальная граница по Шеннону равна 20640 бит/с.

Проблема организации одновременной двусторонней связи (дуплекс) заключается в возможности демодулятора модема распознать входной сигнал на фоне отраженного собственного выходного сигнала, который фактически становится для модема шумом. При этом его мощность может быть не только сравнима, но в большинстве случаев значительно превосходить мощность принимаемого полезного сигнала.

Одним из способов обеспечения двусторонней связи является метод ЧРК. Вся полоса пропускания канала разделяется на два частотных подканала, по каждому из которых производится передача в одном направлении. Выбор подканала передачи осуществляется на этапе установки соединения и, как правило, однозначно связан с ролью модема в сеансе связи: вызывающий или отвечающий.

Очевидно, что этот метод не позволяет использовать возможности канала в полном объеме ввиду значительного сужения полосы пропускания. Для исключения взаимного влияния направлений передачи вводится значительный защитный интервал, в результате чего частотные подканалы становятся меньше половины полной полосы канала. Данный метод обеспечения дуплексной связи ограничивает скорость передачи информации. Существующие протоколы физического уровня, использующие ЧРК, обеспечивают симметричную дуплексную связь со скоростями, не превышающими 2400 бит/с.

Ряд протоколов обеспечивают и более скоростную связь, но в одном направлении, в то время как обратный канал - значительно медленнее. Разделение частот в этом случае осуществляется на неравные по ширине полосы пропускания подканалы. Эта разновидность дуплексной связи называется *асимметричной*.

Другим методом обеспечения симметричного дуплекса, который используется во всех высокоскоростных протоколах, является технология эхоподавления (эхокомпенсации). Суть ее заключается в том, что модемы, обладая информацией о собственном выходном сигнале, могут использовать это знание для фильтрации "собственного" шума (эхосигнала) из принимаемого сигнала. На этапе вхождения в связь каждый модем, посылая зондирующий сигнал, определяет параметры эхосигнала: количество отражений, время запаздывания и мощность каждого отраженного сигнала и пр. В процессе сеанса связи эхокомпенсатор модема вычитает из принимаемого входного сигнала свой собственный выходной сигнал, скорректированный в соответствии с полученными параметрами эхосигнала.

Эта технология позволяет использовать для дуплексной передачи информации всю ширину полосы пропускания канала, однако требует при реализации значительных вычислительных ресурсов на сигнальную обработку.

Наконец, стоит отметить, что многие протоколы и не пытаются обеспечить дуплексную связь. Это так называемые полудуплексные протоколы. В частности, все протоколы,

предназначенные для *факсимильной связи* - полудуплексные. В этом случае в каждый момент времени информация передается только в одну сторону. По окончании приема/передачи некоторой порции информации оба модема (факса) синхронно переключают направление передачи данных. Ввиду отсутствия проблем с взаимным проникновением подканалов передачи, а также с эхо, полудуплексные протоколы в общем случае характеризуются большей помехоустойчивостью и возможностью использования всей ширины полосы пропускания канала.

Однако, в этом случае эффективность использования канала для передачи данных по сравнению с дуплексными протоколами ниже. Связано это прежде всего с тем, что практически все протоколы передачи данных, как канального уровня (MNP, V.42), так и уровня передачи файлов (X, Y, Zmodem, не говоря уже о протоколах типа BiDirectional), требуют двустороннего обмена, по крайней мере для подтверждения принятой информации. А любое переключение направления передачи, помимо невозможности в данный момент передавать очередную порцию пользовательской информации, требует дополнительных накладных расходов по времени на взаимную пересинхронизацию приемной и передающей сторон.

### **8.3.2. Общеупотребительные модемные протоколы МСЭ-Т**

V.21. Дуплексный протокол с ЧРК и ЧМ. На нижнем канале (его обычно использует для передачи вызывающий модем) "1" передается частотой 980 Гц, а "0" - 1180 Гц. На верхнем канале (передает отвечающий) "1" передается частотой 1650 Гц, а "0" - 1850 Гц. Модуляционная и информационная скорости равны - 300 бод, 300 бит/с.

Несмотря на невысокую скорость, данный протокол находит применение прежде всего в качестве "аварийного", при невозможности вследствие высокого уровня помех использовать другие протоколы физического уровня. Кроме того, ввиду своей неприхотливости и помехоустойчивости, он используется в специальных высокоуровневых приложениях, требующих высокой надежности передачи. Например, при установке соединения между модемами по Рекомендации V.8, или для передачи управляющих команд при факсимильной связи (верхний канал).

V.22. Дуплексный протокол с частотным разделением каналов и относительной фазовой модуляцией (ОФМ). Несущая частота нижнего канала (передает вызывающий) - 1200 Гц, верхнего (передает отвечающий) - 2400 Гц. Модуляционная скорость - 600 бод. Имеет режимы двухпозиционной (кодируется бит) и четырехпозиционной (дидит) ОФМ с фазовым расстоянием между точками, соответственно, в  $180^\circ$  и  $90^\circ$ . Соответственно, информационная скорость может быть 600 или 1200 бит/с. Этот протокол фактически поглощен протоколом V.22bis.

V.22bis. Дуплексный протокол с ЧРК и КАМ. Несущая частота нижнего канала (передает вызывающий) - 1200 Гц, верхнего - 2400 Гц. Модуляционная скорость - 600 бод. Имеет режимы 4-позиционной (кодируется дидит) и 16-позиционной (кодируется квадробит) КАМ. Соответственно, информационная скорость может быть 1200 или 2400 бит/с. Режим 1200 бит/с полностью совместим с V.22. Протокол V.22bis является стандартом де-факто для всех низкоскоростных модемов.

V.32. Дуплексный протокол с эхоподавлением и КАМ или КАМ с решетчатым кодированием. Частота несущего сигнала - 1800 Гц, модуляционная скорость - 2400 бод. Таким образом, используется спектр шириной от 600 до 3000 Гц. Имеет режимы двухпозиционной (бит), 4-позиционной (дидит) и 16-позиционной (квадробит) КАМ.

Соответственно, информационная скорость может быть 2400, 4800 и 9600 бит/с. Кроме того, для скорости 9600 бит/с имеет место альтернативная модуляция - 32-позиционная КАМ с решетчатым кодированием.

V.32bis. Дуплексный протокол с эхоподавлением и КАМ с решетчатым кодированием. Используются те же, что в V.32, частота несущего сигнала - 1800 Гц, и модуляционная скорость - 2400 бод. Имеет режимы 16-, 32-, 64- и 128-позиционной модуляции. Соответственно, информационная скорость может быть 7200, 9600, 12000 и 14400 бит/с. Режим 32-позиционной модуляции полностью совместим с соответствующим режимом V.32. Протокол V.32bis является стандартом де-факто для среднескоростных модемов.

V.34. Рекомендация обеспечила существенное увеличение скорости передачи по сравнению с рассмотренными выше, поэтому рассмотрим ее характеристики подробнее.

Полное название рекомендации: "Модем, обеспечивающий передачу данных со скоростями до 28800 бит/с для использования на коммутируемой сети общего пользования и на двухточечных двухпроводных выделенных каналах телефонного типа". Принята МСЭ-Т 20 сентября 1994 года.

Ключевым моментом, позволившим увеличить скорость, является более полное использование полосы частот, предоставляемой коммутируемой телефонной сетью.

Используемая модемом по рекомендации V.34 полоса частот является адаптивно меняющейся величиной. Рекомендацией предусматривается шесть символьных скоростей S, равных 2400, 2743, 2800, 3000, 3200 и 3429 символов/с (в рекомендации V.34 не упоминается единица измерения скорости модуляции "Бод", что, видимо, связано со спецификой используемых сигналов, размерность которых больше двух) и ряд значений несущей частоты: 1600, 1646, 1680, 1800, 1829, 1867, 1920, 1959, 2000 Гц. Это дает модему возможность использовать имеющуюся полосу частот с максимальной эффективностью.

Идея адаптивной подстройки под конкретные характеристики канала, которая в предыдущих поколениях модемов реализуется лишь в приемной части модема, в данной рекомендации обрела глобальный характер. Даже сама скорость передачи данных R выбирается из множества допустимых, лежащих в диапазоне от 2400 до 28800 бит/с, кратных 2400 бит/с, и может меняться в ходе работы. При этом за один символьный интервал, длительность которого равна  $1/S$ , может передаваться от 1 до 9 бит. Наивысшая скорость - 28800 бит/с возможна только на символьных скоростях 3200 и 3429 символов/с, при этом ширина спектра линейного сигнала превышает ЭППЧ канала ТЧ (3100 Гц). Этот противоречивый на первый взгляд факт объясняется тем, что в ряде случаев межмодемное соединение может быть организовано без участия систем передачи, ограничивающих ЭППЧ величиной 3100 Гц. Примером такого соединения может служить соединение абонентов двух АТС, расположенных недалеко друг от друга (соединение представляет собой "чистые провода").

Другим, не менее важным, моментом является система помехоустойчивого кодирования. Техника ТСМ (Trellis Coded Modulation - модуляция с решетчатым кодированием) значительно продвинулась вперед по сравнению с той, которая заложена в рекомендации V.32.

В рекомендацию V.34 введена четырехмерная сигнально-кодовая конструкция (СКК) со сверточным кодом на 16, 32 и 64 состояния. С увеличением числа состояний кодера растет свободное евклидово расстояние между соседними путями на решетчатой диаграмме, в

результате чего улучшается помехоустойчивость всей системы сигналов. С другой стороны, эта тенденция ведет к усложнению декодера и увеличению задержки на принятие решения.

В четырехмерном пространстве каждая точка имеет четыре координаты, передается за два символьных интервала и при формировании ее позиционного номера используется один избыточный бит. Переход к четырехмерным СКК позволил существенно увеличить общее число сигнальных точек, что дало возможность поднять кодовую скорость (отношение числа информационных бит к общему числу бит) без ухудшения помехоустойчивости.

Впервые в схему передатчика модема введен генератор колец, способствующий синтезу выходного сигнала требуемой формы. Дело в том, что, несмотря на наличие скремблера на входе передатчика, используемые СКК формируют сигнал с большим пик-фактором. Следствием этого является статистическая зависимость между передаваемой информацией и уровнем сигнала на выходе, что ухудшает общие характеристики системы. Для решения этой задачи в рекомендации предложено специальное предкодирование (Shell Mapping), которое обеспечивает информационную развязку для всех типов сигнальных созвездий.

Одной из интересных технологий, нашедших отражение в рекомендации V.34, является амплитудно-фазовая предкоррекция сигнала передатчика, позволяющая получить выигрыш более 3.5 дБ в отношении сигнал/шум по сравнению с линейной коррекцией. Предискажения на передаче вводятся при помощи цифрового фильтра третьего порядка с комплексными коэффициентами, которые пересылаются от удаленного модема на этапе вхождения в связь. Таким образом, сигнал передатчика имеет искажения, обратные тем, которые он приобретает при прохождении по каналу, и за счет этого существенно облегчается задача адаптивного корректора на приемной стороне.

Кроме того, в рекомендации заложена возможность выбора одного из 11 заранее определенных шаблонов для спектра сигнала передатчика. Эти шаблоны предполагают подъем высокочастотных составляющих спектра, что должно скомпенсировать искажения, вносимые абонентскими и соединительными линиями.

Интересной особенностью рекомендации является процедура адаптации к каналу связи после установления соединения. При этом передатчик модема дважды посылает в линию специальный зондирующий сигнал, который представляет собой последовательность из 21 гармонического колебания разных частот в диапазоне от 150 до 3750 Гц (т.е. в пределах шире ЭППЧ канала ТЧ). Приемник удаленного модема при помощи этого сигнала осуществляет расчет частотной характеристики канала связи, степени нелинейных искажений, сдвига частот и других характеристик канала. В соответствии с этим выбирается номинальная символьная скорость, значение несущей частоты, уровень передачи, номер шаблона и коэффициенты предкорректора, скорость передачи данных, число состояний решетчатого кодера, тип СКК, параметр нелинейного кодера и другая информация о желаемой конфигурации удаленного передатчика. Аналогичная процедура осуществляется и в противоположном направлении. Затем оба модема одновременно обмениваются этими установками, передавая их со скоростью 600 бит/с при помощи относительной фазовой модуляции в частотно-разделенных каналах на несущих 1200 и 2400 Гц. Эта информация защищена от ошибок циклическим кодом.

Серьезное внимание уделено процедуре вхождения в связь, которая состоит из четырех фаз. Первая фаза - установление соединения согласно рекомендациям V.25 и V.8, при которой модемы выбирают рекомендацию МСЭ-Т серии V, реализованную в обоих

модемах. Если оба модема поддерживают V.34, то они переходят ко второй фазе, в ходе которой производится описанное выше опробирование и классификация канала связи. Третья и четвертая фазы служат для обучения адаптивного корректора, эхокомпенсатора и других систем приемника модема. Отличительной чертой V.34 также является развитый сервис, который включает в себя такие возможности, как:

- асимметричная передача. При этом подразумевается, что два модема, работающие по V.34, могут иметь не только разные скорости передачи, но и разные несущие частоты, разные СКК и т.д.;
- полудуплексная работа. Такая возможность предполагает взаимодействие модемов без схем эхокомпенсации и, видимо, в будущем реализацию факсимильной передачи по рекомендации V.34;
- дополнительный канал. В рекомендации заложен параллельный канал со скоростью передачи 200 бит/с, который образован за счет временного уплотнения и является информационно-независимым от основного канала. Этот канал может быть использован как самим модемом для обмена служебной информацией, так и оконечным оборудованием данных, и тогда он будет называться вторичным каналом. Вторичный канал является асинхронным и основным его назначением является функция управления сетью.

Доминирующим принципом V.34 является системный подход к проблеме помехоустойчивости. Все перечисленные аспекты увязаны воедино и представляют собой симбиоз передовых технологий, органично вобравший в себя последние достижения теории и практики передачи данных.

Ресурсоемкие алгоритмы, лежащие в основе рекомендации V.34, требуют большой вычислительной мощности. Производительность сигнального процессора в модеме, удовлетворяющего рекомендации V.34, должна быть порядка 35..40 MIPS, тогда как для реализации V.32bis было достаточно 20 MIPS.

Повышение производительности процессора повышает цену модема, поэтому многие производители просто адаптируют старые микросхемы V.32bis к требованиям рекомендации V.34 без повышения производительности процессора. Такие модемы стоят дешевле, поскольку не требуют разработки или использования новых микросхем. Ограничение производительности не позволяет реализовать полный набор всех функций рекомендации V.34. К сожалению в самой рекомендации часть функций определены как факультативные и их выбор для реализации остается на совести разработчика модема. В результате появились модемы, "соответствующие рекомендации V.34", но фактически являющиеся "усеченными".

Рынок модемов V.34 распался на два сегмента: недорогие модемы для "домашнего" использования, в которых реализованы только базовые обязательные функции V.34, и надежные дорогие модемы для профессиональной связи.

Технические решения, заложенные в рекомендации V.34 далеко не исчерпаны. Об этом свидетельствует то, что в конце 1996 года МСЭ-Т приняла новую редакцию рекомендации V.34, стандартизирующую требования к модемам на скорость передачи 33600 бит/с.

Кроме того, компании Rockwell Semiconductor Systems и Lucent Technologies подготовили набор микросхем, обеспечивающих скорость передачи 56 Кбит/с. Независимо от них



фирма U.S.Robotics представила свою технологию x2, обеспечивающую такую же скорость передачи. Указанная скорость может быть достигнута только в том случае, если магистральная сеть является полностью цифровой, а аналоговыми являются только абонентские линии. Выполнение этого условия для ВСС в настоящее время является проблематичным.

### **8.3.3. Экзотические модемные протоколы МСЭ-Т**

V.23. Полудуплексный протокол с ЧМ. В нем имеется два скоростных режима: 600 бит/с и 1200 бит/с. Модуляционная и информационная скорости равны: соответственно, 600 и 1200 бод. В обоих режимах "1" передается частотой 1300 Гц. В режиме 600 бит/с "0" передается частотой 1700 Гц, а в режиме 1200 бит/с - частотой 2100 Гц. Реализация протокола может включать обратный канал, работающий на скорости 75 бит/с, что превращает протокол в асимметричный дуплексный. Частота передачи "1" в обратном канале - 390 Гц, "0" - 450 Гц.

Этот протокол практически вышел из употребления в качестве стандартного протокола межмодемной связи, и далеко не всякий стандартный модем им оснащен. Однако, в ряде европейских стран этот протокол применяется в информационной системе Видеотекс.

V.26, V.26bis, V.26ter. Эти три протокола объединяет тип модуляции - ОФМ, частота несущей - 1800 Гц и модуляционная скорость - 1200 бод. Разница между ними заключается в возможности и способах обеспечения дуплексной связи и в информационной скорости. V.26 обеспечивает дуплекс только по четырехпроводной выделенной линии, V.26bis - это полудуплексный протокол, предназначенный для работы по двухпроводной коммутируемой линии, а V.26ter обеспечивает полный дуплекс с помощью технологии эхоподавления. Кроме того, первые два протокола могут быть симметричными дуплексными, дополнительно включая обратный канал, работающий на скорости 75 бит/с в соответствии с V.23. Все три протокола обеспечивают скорость передачи информации 2400 бит/с посредством четырехпозиционной (дибит) ОФМ. V.26bis и V.26ter, кроме того, имеют режим двухпозиционной (бит) ОФМ, обеспечивая скорость 1200 бит/с.

V.33. В этом протоколе используется модуляция с решетчатым кодированием. Он предназначен для обеспечения дуплексной связи на четырехпроводных выделенных каналах. Имеет частоту несущего сигнала 1800 Гц, и модуляционную скорость 2400 бод. Работает в режимах 64- и 128-позиционной модуляции. Соответственно, информационная скорость может быть 12000 и 14400 бит/с. Этот протокол очень напоминает V.32bis без эхоподавления. Более того, если модем с протоколом V.33 установить на четырехпроводное окончание канала ТЧ, то он способен работать с удаленным модемом V.32bis, установленным на двухпроводной линии.

### **8.3.4. Общеупотребительные протоколы МСЭ-Т для факсимильных аппаратов**

V.27ter. В этом протоколе применяется ОФМ с частотой несущего сигнала 1800 Гц. Могут использоваться два режима с разными информационными скоростями: 2400 и 4800 бит/с. Информационная скорость 2400 бит/с достигается модуляционной скоростью 1200 бод и кодированием дибита (4-позиционная ОФМ), а 4800 бит/с - скоростью 1600 бод и кодированием трибита (8-позиционная ОФМ).

Стоит отметить, что существуют еще малоупотребительные модемные протоколы данного семейства - V.27 и V.27bis, которые отличаются от V.27ter, главным образом, типом канала (выделенный четырехпроводный), для которого они предназначены.

V.29. В этом протоколе применяется КАМ. Частота несущего сигнала - 1700 Гц, модуляционная скорость - 2400 бод. Имеет режимы 8-позиционной (трибит) и 16-позиционной (квадробит) КАМ. Соответственно, информационная скорость может быть 7200 и 9600 бит/с.

V.17. Этот протокол по своим параметрам очень напоминает V.32bis. В нем используется модуляция с решетчатым кодированием. Частота несущего сигнала - 1800 Гц, и модуляционная скорость - 2400 бод. Имеет режимы 16-, 32-, 64- и 128-позиционной модуляции. Соответственно, информационная скорость может быть 7200, 9600, 12000 и 14400 бит/с.

### **8.3.5. Нестандартные модемные протоколы**

V.32terbo. Этот протокол, разработанный фирмой AT&T, является открытым для реализации разработчиками модемов. В частности, помимо БИС фирмы AT&T, данный протокол реализован в некоторых модемах фирмы U.S.Robotics. Протокол фактически является механическим развитием технологии V.32bis: дуплекс с эхоподавлением, модуляция с решетчатым кодированием, модуляционная скорость 2400 бод, несущая 1800 Гц, расширение информационных скоростей значениями 16800 и 19200 бит/с за счет 256- и 512-позиционной модуляции. Следствием такого подхода является весьма жесткие требования, предъявляемые данным протоколом к каналу. Так, например, для устойчивой работы на скорости 19200 бит/с отношение сигнал/шум должно быть не менее 30 дБ.

ZyX. Протокол разработан фирмой ZyXEL Communications Corporation и реализован в собственных модемах. Этот протокол также, как и V.32terbo, расширяет V.32bis значениями информационных скоростей 16800 и 19200 бит/с с сохранением технологии эхоподавления, модуляции с решетчатым кодированием и несущей 1800 Гц. Модуляционная же скорость 2400 бод сохраняется лишь для 16800 бит/с. Скорость 19200 бит/с обеспечивается повышением модуляционной скорости до 2743 бод при сохранении режима 256-позиционной модуляции для обеих скоростей. Такое решение позволяет снизить требование к отношению сигнал/шум на линии на 2.4 дБ, однако расширение полосы пропускания может негативно сказываться при больших искажениях амплитудно-частотной характеристики канала.

HST. Протокол HST (High Speed Technology) разработан фирмой U.S.Robotics и реализован в модемах фирмы серии Courier. Это асимметричный дуплексный протокол с ЧРК. Обратный канал имеет режимы 300 и 450 бит/с. Основной канал - 4800, 7200, 9600, 12000, 14400 и 16800 бит/с. Применяется модуляция с решетчатым кодированием и модуляционной скоростью 2400 бод. Характеризуется сравнительной простотой и высокой помехоустойчивостью вследствие отсутствия необходимости в эхокомпенсации и отсутствия взаимного влияния каналов.

PEP, TurboPEP. Полудуплексные протоколы семейства PEP (Packetized Ensemble Protocol) разработаны фирмой Telebit и реализованы в модемах фирмы серий TrailBlazer (PEP) и WorldBlazer (TurboPEP). В этих протоколах принципиально иным образом используется вся полоса пропускания канала ТЧ для высокоскоростной передачи данных. Весь канал разбивается на множество узкополосных частотных подканалов, по каждому из которых независимо передается своя порция бит из общего потока информации. Такого рода

протоколы называют многоканальными, или параллельными, или протоколами с множеством несущих (multicarrier).

В протоколе PEP канал разбивается на 511 подканалов. В каждом подканале шириной около 6 Гц с модуляционной скоростью от 2 до 6 бод с помощью КАМ кодируются от 2 до 6 бит на бод. Имеется несколько степеней свободы для обеспечения максимальной пропускной способности каждого конкретного канала, имеющего свои характеристики. В процессе установки соединения каждый частотный подканал независимо тестируется и определяется возможность его использования, а также модуляционная скорость подканала и число позиций модуляции. Максимальная скорость передачи по протоколу PEP может достигать 19200 бит/с. В процессе сеанса при ухудшении помеховой обстановки параметры подканалов могут меняться, а некоторые подканалы - отключаться. При этом декремент понижения скорости не превышает 100 бит/с.

Протокол TurboPEP за счет увеличения числа подканалов, а также количества кодируемых на одном бодовом интервале бит, может достигать скорости 23000 бит/с. Кроме того, в протоколе TurboPEP применяется модуляция с решетчатым кодированием, что увеличивает помехоустойчивость протокола.

Основными преимуществами этих протоколов является слабая чувствительность к искажениям амплитудно-частотной характеристики канала и значительно меньшая чувствительность к импульсным помехам по сравнению с традиционными протоколами.

В ряде стран протоколы этого типа запрещены для использования на коммутируемых телефонных каналах.

## **8.4. Телевизионные системы**

Современная телевизионная (ТВ) система - это совокупность оптических, электронных и радиотехнических устройств, которые принимают и передают на расстояние информацию о пространственно-излучательных характеристиках подвижных цветных объектов.

Изображение объекта преобразуется в электрический сигнал, который передается по каналу связи и в месте приема преобразуется в оптическое изображение (Рис. 8.32).

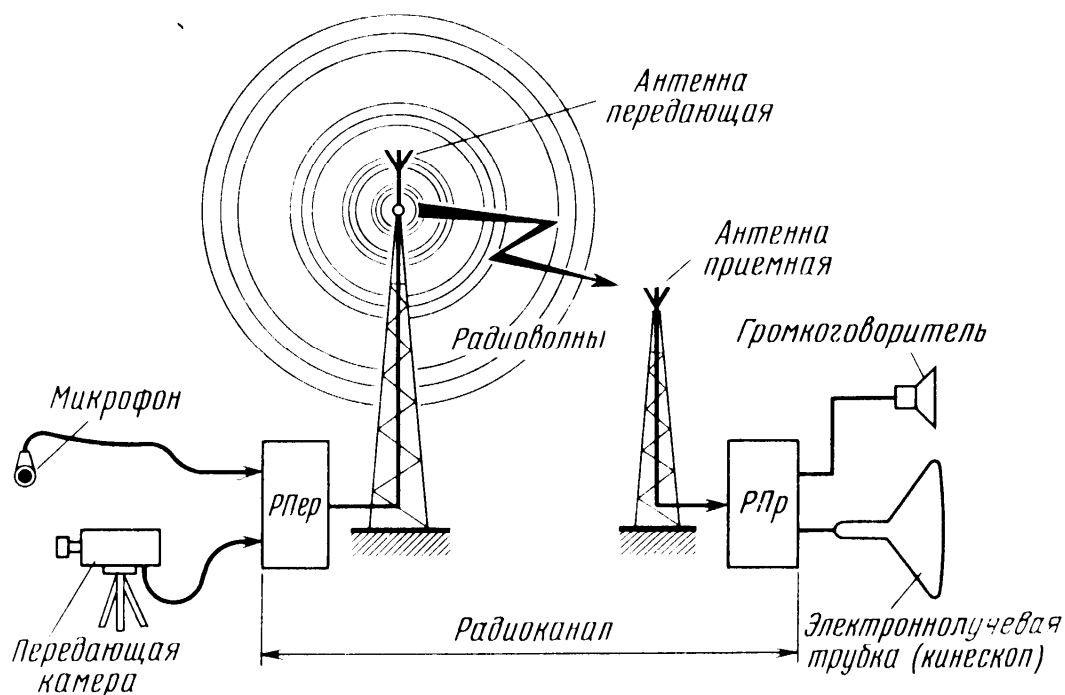


Рис. 8.32. Структурная схема системы телевизионного вещания

Упрощенная схема одного из типов передающих трубок (видикона) приведена на Рис. 8.33. В стеклянном вакуумном баллоне трубки расположены два электрода - электронный прожектор и мишень. Прожектор создает электронный луч, направленный в сторону мишени. Поперечное сечение луча формируется фокусирующей системой ФС. Направление луча, определяющее место его встречи с мишенью, задается отклоняющей системой ОС. Источник питания  $\Pi$ , прожектор, электронный луч, мишень и нагрузка  $R_H$  образуют электрическую цепь. Мишень имеет два слоя. Первый является прозрачным для света и обладает постоянной электропроводимостью. Второй, обращенный к прожектору, изготавливается из вещества, обладающего внутренним фотоэффектом. Движущееся изображение проецируется на мишень при помощи объектива. При этом отдельные участки мишени будут освещены по-разному, а потому вследствие внутреннего фотоэффекта будут иметь разную электропроводность. Ток в цепи будет пропорционален электропроводности участка мишени, которого в данный момент касается электронный луч. Отклоняющая система трубки обеспечивает безинерционное перемещение электронного луча по горизонтали и вертикали. Тем самым обеспечивается последовательное преобразование лучистой энергии, отраженной от участков подвижного изображения, в сигнал, который принято называть видеосигналом.

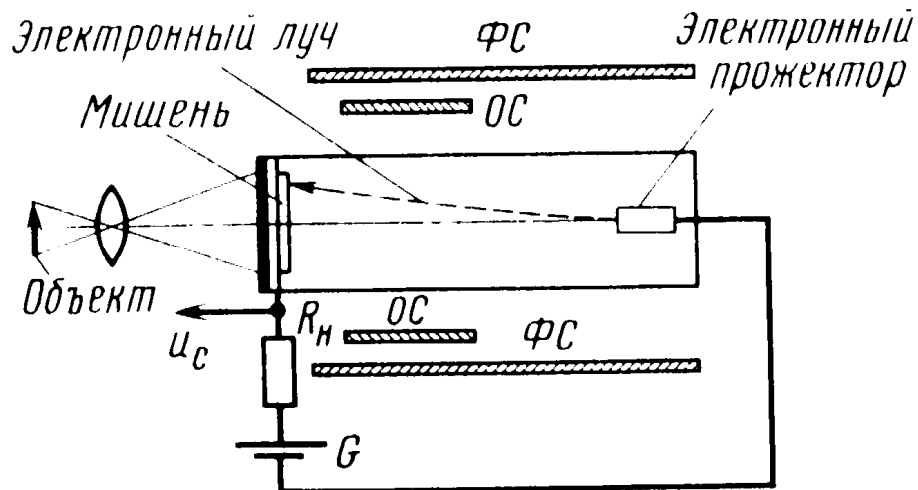


Рис. 8.33. Передающая телевизионная трубка (видикон)

Аналогично видикону работает и трехкомпонентная цветная передающая трубка (ЦПТ). Световой поток от передаваемой сцены светоразделительной оптикой (СРО) делится на 3 основные компоненты. Трехкомпонентная ЦПТ преобразует уровни световых интенсивностей каждой компоненты в соответствующие уровни электрических сигналов.

Для передачи по каналу кодирующее устройство формирует сигнал яркости  $U_Y$  и два цветоразностных сигнала  $U_{R-Y}$  и  $U_{B-Y}$ . В целях поддержания синхронизма развертки изображения в канал связи передаются сигналы синхронизации  $U_{си}$ .

Декодирующее устройство восстанавливает исходные сигналы и формирует сигнал развертки, которые синтезируют передаваемую сцену на экране телевизионной трубки.

Упрощенная схема, поясняющая устройство приемной телевизионной трубки (кинескопа), приведена на Рис. 8.34. Слой люминофора нанесен на внутреннюю поверхность широкой части стеклянного баллона. Электронный луч создается прожектором, формируется и ускоряется специальными электродами (на рисунке не показаны). Интенсивностью электронного луча управляет видеосигнал. Луч направляется на люминофор и высвечивает поэлементно строку за строкой. Движение луча по горизонтали и вертикали задается отклоняющей системой (ОС).

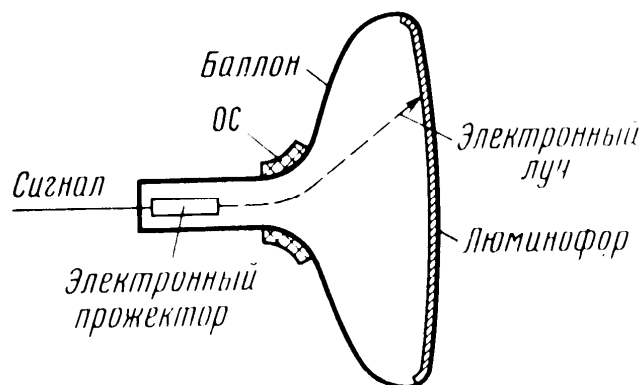


Рис. 8.34. Приемная телевизионная трубка (кинескоп)

Поскольку интенсивность луча изменяется в соответствии с изменением сигнала, яркость свечения каждой строки будет изменяться. Ввиду большой скорости перемещения луча по строкам и определенной инерционности зрения человек наблюдает на экране цельное оптическое изображение.

Принцип работы цветного кинескопа аналогичен рассмотренному. Для передачи каждого из трех цветов применяются три отдельные электронные пушки.

В ТВ под кадром понимают совокупность элементов, на которые разбивается изображение. Геометрическое место последовательно передаваемых элементов в кадре называют телевизионным растром.

В ТВ системах растр строится по принципу линейно-строчной развертки.

На время обратного хода луча в полном ТВ сигнале вводятся гасящие импульсы, в пределах которого передается синхронизирующая информация.

Параметры полного ТВ сигнала определяются свойствами зрения:

- угол разрешения зрения 1,5..2';
- число градаций яркости 70..90;
- критическая частота мерцаний 48..50 Гц;
- трехкомпонентная теория зрения. В соответствии с данной теорией любой цвет может быть представлен в виде композиции красного (R - red), зеленого (G - green) и синего (B - blue). Чувствительность человеческого глаза данным цветам различна. Сигнал яркости (используемый в совместимых цветных ТВ системах) может быть получен как  $U_Y=0.3U_R+0.59U_G+0.11U_B$ ;
- более низкая разрешающая способность для цветных элементов - в 4 раза меньше, чем к изменению яркости (мелкие цветные элементы воспринимаются как черно-белые).

Наибольший объем информации содержит сигнал яркости и, в основном, определяет полосу ТВ сигнала. Для передачи цветоразностных сигналов требуется полоса примерно в 4 раза уже, чем яркостного сигнала.

Для сокращения полосы ТВ сигнала применяют чересстрочную развертку, при которой полный кадр изображения передается и воспроизводится за два поля. В первом поле развертываются нечетные строки раstra, во втором - четные. Два поля образуют один кадр с полной четкостью.

В РФ и Европе частота полей принята 50 Гц, в США - 60 Гц.

Рассмотрим характеристики существующих телевизионных систем.

Система NTSC (National Television System Committee). Одновременная совместимая система цветного ТВ, в которой передается яркостный сигнал и расположенная в пределах его спектра поднесущая, квадратурно модулированная двумя цветоразностными сигналами. В приемнике осуществляется синхронное детектирование цветоразностных сигналов, для чего в пределах гасящего строчного импульса передается частота поднесущего колебания с опорной фазой.

Европейский вариант NTSC: число строк 525, частота полей 60 Гц, поднесущая цветности 4.42 МГц, ширина полосы  $2 \times 1.3$  МГц, несущая звука 6.5 МГц. Американский вариант NTSC: число строк 525, частота полей 60 Гц, поднесущая цветности 3.58 МГц, ширина полосы 1.3 и 0.5 МГц, несущая звука 4.5 МГц.

Система PAL (Phase Alternated Line). Квазисмешанная совместимая система цветного ТВ с квадратурной модуляцией поднесущей. Фаза одной из квадратурных компонент поднесущей переключается на  $180^\circ$  от строки к строке и сигналы цветности соседних строк в приемнике суммируются.

Основные характеристики системы PAL: число строк 525, частота полей 60 Гц, поднесущая цветности 4.433 618 МГц, ширина полосы  $2 \times 1.3$  МГц, несущая звука 4.5 МГц.

Система SECAM. Квазисмешанная совместимая система цветного ТВ. Поднесущие, расположенные в спектре яркостного сигнала, модулируются по частоте двумя чередующимися от строки к строке цветоразностными сигналами. В приемнике цветоразностные сигналы для каждой строки восстанавливаются сложением с использованием линии задержки.

В системе SECAM сигналы цветности чередуются с частотой строк, т.е. цветовая четкость хуже в 2 раза. Однако это не ухудшает цветовосприятия. Основные характеристики системы SECAM: число строк 625, частота полей 50 Гц, поднесущая цветности В-У  $4.25 \text{ МГц} \pm 230 \text{ кГц}$ , R-У  $4.406 \text{ МГц} \pm 280 \text{ кГц}$ , несущая звука 6.5 МГц.

Цифровое телевидение. Основные характеристики цифрового ТВ сигнала нормированы МСЭ-Р для 525- и 625-строчных систем. Преобразование аналогового сигнала цветного ТВ осуществляется с частотой дискретизации яркостного сигнала 13.5 МГц и цветоразностных - 6.75 МГц. Это соотношение частот дискретизации обозначается 4:2:2. Для более сложных процессов обработки предусмотрен стандарт 4:4:4. Скорость передачи цифрового ТВ сигнала даже при использовании стандарта 4:2:2 получается высокой и составляет 216 Мбит/с.

*Методами сжатия* видеоданных удается снизить скорость передачи до 4% от исходной. Различными организациями проводятся работы по стандартизации методов сжатия. В настоящее время разработаны следующие стандарты:

- Indeo (Intel Video) - разработан фирмой Intel;
- JPEG - разработан группой экспертов в области фотографии Joint Photographic Experts Group для неподвижных изображений;
- MPEG - разработан группой экспертов в области движущихся объектов Motion Picture Experts Group для подвижных изображений. Например, видеокадр в стандарте NTSC формата  $512 \times 400$  точек 24 разряда на точку с первоначального размера 22 Мбайт может быть сжат до 0,45..17 Мбайт. В настоящее время широко применяется вторая версия стандарта.

К перспективным системам телевидения можно отнести телевидение высокой четкости и многопрограммное цифровое телевидение.

ТВ высокой четкости (ТВЧ). ТВЧ предполагает изменение формата изображения от 4:3 к 16:9 и увеличение числа строк свыше 1000. В Японии разработана и введена в

эксплуатацию в 1989 году система 1125 строк, 60 полей. В рамках ЕС разработана система 1250 строк, 50 полей.

Передача полноформатного сигнала ТВЧ цифровыми методами (1024× 768, 32 бита, 30 кадров/с) требует скорости 755 Мбит/с.

Многопрограммное цифровое ТВ (МПТВ-6-7-8). МПТВ предполагает передачу по стандартным каналам сжатых цифровых сигналов нескольких ТВ программ вместо одной программы стандартного ТВ или ТВЧ. В настоящее время удается передать от 4 до 10 ТВ программ в одном стандартном ТВ канале.

## **8.5. Системы подвижной радиосвязи**

### **8.5.1. Общие положения**

Рынок подвижной радиосвязи переживает во всем мире стремительное развитие. До 1995 года только в Европе рынок подвижной радиосвязи охватывал около 15 млн. абонентов с ежегодным оборотом более 8 млрд. долларов. Глобальной стратегией развития подвижной радиосвязи является разработка и внедрение единых международных стандартов и создание на их основе международных и глобальных сетей общего пользования.

В настоящее время доминирующее положение на рынке подвижной радиосвязи занимают:

- профессиональные (частные) системы подвижной радиосвязи (PMR, PAMR);
- системы персонального радиовызова (Paging Systems);
- системы сотовой подвижной радиосвязи (Cellular Radio Systems);
- системы беспроводных телефонов (Cordless Telephony).

### **8.5.2. Профессиональные системы подвижной радиосвязи**

Профессиональные (частные) системы подвижной радиосвязи (PMR - Professional Mobile Radio, PAMR - Public Access Mobile Radio) исторически появились первыми. Системы, обеспечивающие взаимодействие с телефонными сетями общего пользования, получили название частных (PAMR), а не обеспечивающие такого взаимодействия - профессиональных (PMR), т.е. обеспечивающих связью замкнутую группу абонентов.

В первых профессиональных системах передатчик и приемник проектировались для работы на определенной фиксированной частоте. Каждый радиоканал был закреплен за сравнительно небольшой группой абонентов, которые использовали его как общедоступную линию связи (Рис. 8.35, а). Если число абонентов превышало возможности одного канала, образовывали другую группу, за которой закрепляли другой радиоканал.



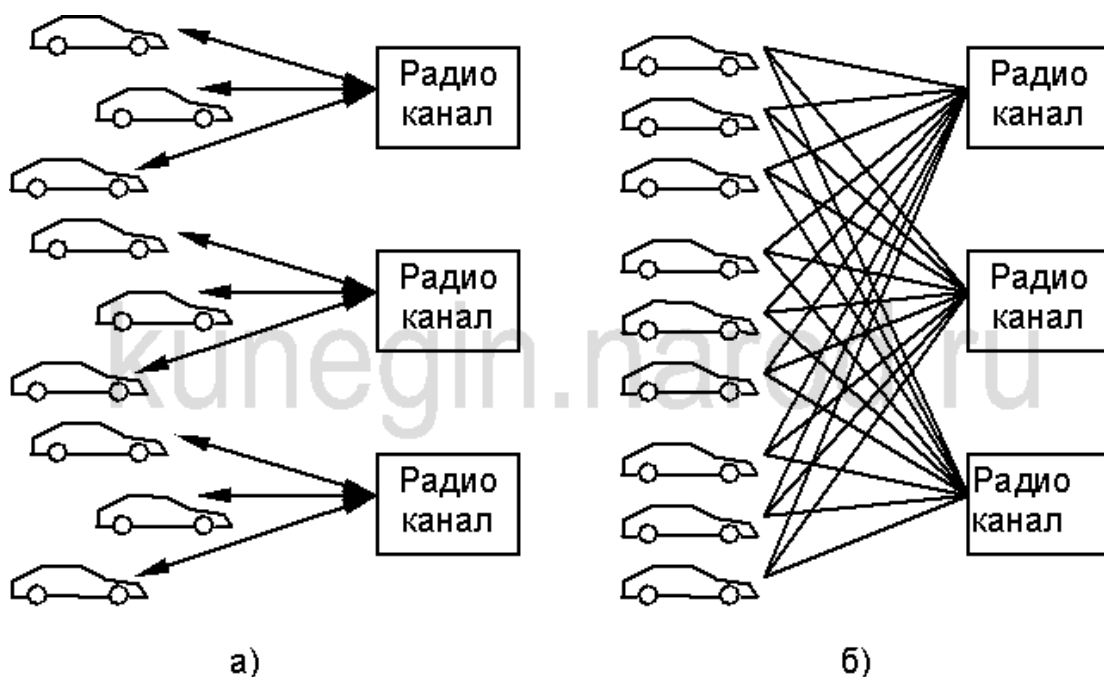


Рис. 8.35. Профессиональные (частные) системы подвижной радиосвязи

В системе с общедоступным пучком каналов (транкинговые системы) (Рис. 8.35, б) всем абонентам сети доступна целая группа каналов. При поступлении вызова за парой абонентов закрепляется один из свободных в этот момент каналов. После отбоя канал освобождается и может быть предоставлен любой другой паре абонентов.

Технически это выполняется:

- последовательным поиском радиостанцией свободного канала (например, по специальному маркерному сигналу незанятости). Однако такие системы характеризуются значительным временем установления соединения и могут применяться при небольшом количестве каналов (до 5..8);
- специально выделенным общим каналом сигнализации, на который настроены все радиостанции сети в режиме дежурного приема. Такие системы являются наиболее распространенными.

Пропускная способность системы с общедоступным пучком каналов существенно выше, чем системы с закрепленными каналами.

Например, единственный канал при вероятности блокировки (т.е. непредоставления канала из-за его занятости) 10% и средней продолжительности разговора 2,5 мин на одного абонента в ЧНН позволит обслужить не более двух-трех абонентов. Двадцать таких каналов, используемых порознь, позволят обслужить около 50 абонентов. При тех же условиях система с общедоступным пучком каналов, использующая те же 20 каналов, сможет обслужить уже 420 абонентов, т.е. ее пропускная способность возрастает более чем в 8 раз.

Сети профессиональной радиосвязи проектируются по аналогии с вещательными сетями: достаточно мощный передатчик работает через высоко подвешенную антенну, охватывая территорию в пределах прямой видимости радиусом до 40...50 км. При этом на площади обслуживания в 5...8 тысяч кв. км абонентам может быть доступно несколько десятков радиоканалов.

На изложенном транкинговом принципе действия в 60-х годах была создана отечественная система подвижной связи "Алтай", которая в модернизированном виде функционирует и по настоящее время в диапазоне 330 МГц. Хотя общие тенденции развития отечественных профессиональных систем подвижной радиосвязи отвечали современному мировому уровню, однако, они разрабатывались в соответствии со стандартами России и не были ориентированы на западные стандарты, где уже наметилась тенденция международной стандартизации и унификации оборудования.

Наиболее распространенным видом транкинговых систем являются системы с выделенным каналом управления, использующие международные стандарты МТР 1327, МТР 1317, МТР 1343 и МТР 1347, разработанные первоначально в Великобритании на диапазоны частот 174..225 МГц и распространенные позже на другие диапазоны.

Известны также транкинговые системы с совмещенным каналом управления, когда для передачи сигналов управления используется участок информационной полосы звуковых частот, расположенный ниже спектра частот речевого сигнала - в полосе до 150 Гц. Системы этого вида были разработаны фирмой E.F.Johnson (США) и получили обозначение LTR.

Общей тенденцией развития профессиональных систем подвижной радиосвязи является переход от аналоговых корпоративных или национальных стандартов к цифровым международным стандартам с обеспечением конфиденциальности связи и роуминга абонентов. Эти тенденции прежде всего связаны с внедрением общеевропейского стандарта на транкинговые системы подвижной радиосвязи TETRA, разработанного в рамках ETSI. Системы стандарта TETRA обеспечивают передачу речевых сообщений в цифровой форме, передачу данных и т.д. TETRA обеспечивает прямую связь абонентов без участия базовых станций. Внедрение систем стандарта TETRA в Европе планируется с 1997 года, первоначально в интересах служб безопасности, полиции и охраны границ.

Однако, эффективность транкинговых систем с радиальной структурой сети оказывается недостаточной для удовлетворения массового спроса на услуги подвижной связи в густонаселенных районах.

Так, для Москвы с ее 10-миллионным населением обеспечение только 0,1% жителей подвижной связью при стандартных условиях качества обслуживания (средняя длительность переговоров 1,5 мин, вероятность блокировки 5%) потребует выделения примерно 250 радиоканалов или при ширине полосы одного канала в 25 кГц соответственно двух полос частот по 6,25 МГц каждая.

Проблему организации подвижной связи для густонаселенных районов удалось решить путем построения сетей подвижной связи по сотовому принципу.

### **8.5.3. Сотовые системы**

Сотовая система подвижной радиосвязи (ССПС) использует большое число маломощных передатчиков, которые предназначены для обслуживания только сравнительно небольшой зоны, скажем, радиусом в 1...2 км.

Например, вместо использования единственного передатчика для обслуживания территории Москвы город можно разбить на множество небольших зон покрытия, называемых сота́ми. Чтобы понять, как это изменит общую картину, предположим, что все имеющиеся в распоряжении частотные каналы могут повторно использоваться в

каждой ячейке сотовой структуры. Тогда требуемые для 0,1 % жителей Москвы 250 каналов можно получить, например, разделением обслуживаемой территории радиусом в 50 км на 25 ячеек радиусом по 10 км с организацией в каждой ячейке только 10 радиоканалов с одним и тем же набором частот. Приведенный пример служит только для пояснения сотовой структуры.

Расчеты показывают, что из-за недопустимо большого уровня взаимных помех ячейки с одинаковым набором частот необходимо перемежать буферными ячейками с другими наборами частот. Группа ячеек в зоне обслуживания с различными наборами частот называется кластером. На Рис. 8.36 показан образец сотовой структуры с типичной для аналоговых сетей размерностью кластера  $n=7$ .

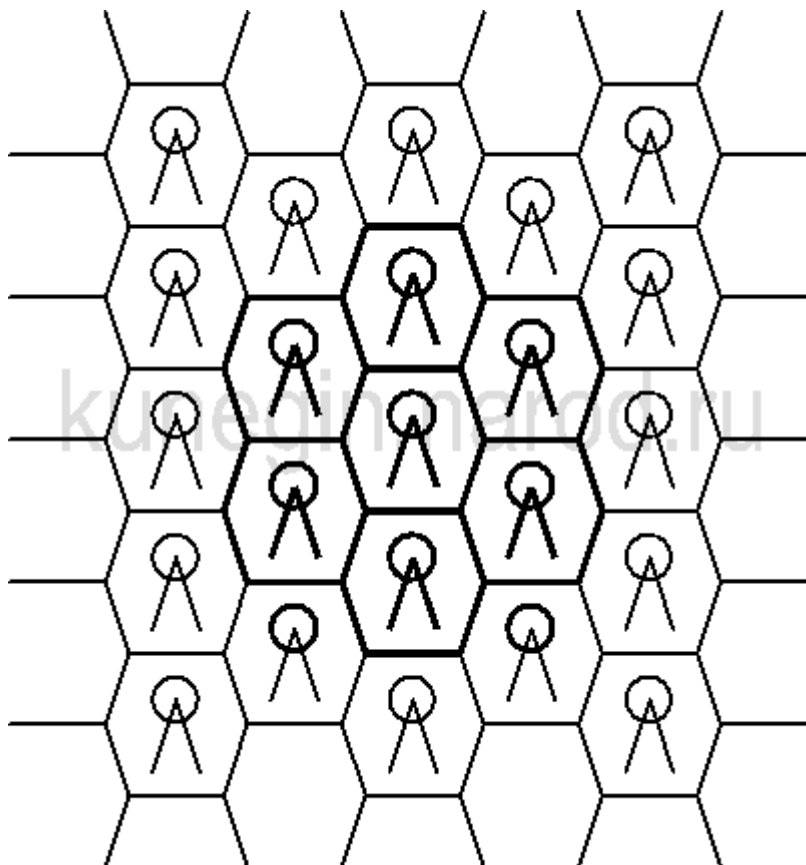


Рис. 8.36. Образец сотовой структуры

Если, например, для обслуживания абонентов в одной ячейке требуется набор из 10 частот, то для создания сотовой структуры с размерностью кластера  $n=7$ , обслуживающей сколь угодно большую территорию, необходимо располагать набором из 70 частот.

Основной потенциал сотовой идеи заключается в том, что уровень взаимных помех зависит не от собственно расстояния между ячейками, а от отношения расстояния между ячейками к их радиусу.

Радиус ячейки зависит от мощности передатчика и, определяется разработчиком системы, который в процессе проектирования должен выбрать подходящую размерность кластера. С уменьшением радиуса ячейки возрастает количество базовых станций, приходящихся на 1 кв. км площади обслуживания и на 1 МГц используемой полосы частот.

Конечно, полномасштабное развертывание сотовой сети с самого начала ее ввода в эксплуатацию представляется чрезвычайно дорогостоящим. Обычно ее развертывание начинается с небольшого числа крупных ячеек, которые через некоторое время постепенно трансформируются в большее число более мелких ячеек. Такой способ преобразования называется расщеплением. Когда в некоторой ячейке нагрузка достигает того уровня, при котором существующее в ней число каналов оказывается недостаточным для поддержания установленного качества обслуживания абонентов (т.е. вероятность непредоставления канала при поступлении вызова оказывается больше установленного значения, как правило, до 5%), эта ячейка разделяется на несколько более мелких с пониженной мощностью передатчиков. При этом пропускная способность сети на территории расщепленной ячейки увеличивается в число раз, равное числу вновь образованных ячеек. Эта процедура может повторяться до тех пор, пока сеть не достигнет расчетного значения своей пропускной способности.

Ячейки небольших размеров требуются только в центральной части города со значительной плотностью абонентов. Ближе к окраинам плотность снижается, и размеры ячеек могут увеличиваться. Расщепление ячеек может производиться достаточно гибко как в пространстве, так и во времени. По замыслу разработчиков сотовой системы она должна явиться чрезвычайно удобным средством в руках проектировщиков для возможности повышения пропускной способности именно там и именно в то время, где и когда это необходимо.

Использование сравнительно небольших ячеек создает *проблему поддержания непрерывности связи*. При движении по произвольному маршруту объект (абонент ССПС) в течение одного сеанса связи может миновать несколько ячеек. В этом случае непрерывность связи обеспечивается способностью системы автоматически передавать связь с объектом тем базовым станциям, в зоне действия которых он оказывается в данный момент.

Благодаря непрерывным измерениям уровней сигналов, поступающих в центр коммутации подвижной связи от базовых станций, ближайших к движущемуся объекту, система может определить момент пересечения объектом границы двух ячеек и переключить разговорный канал из первой ячейки во вторую в течение достаточно малого промежутка времени, не приводящего к нарушению непрерывности разговора. Такая процедура, получившая название эстафетной передачи (хэндовер), требует весьма сложного алгоритма определения именно той ячейки из нескольких соседних, куда перемещается объект, а также быстродействующих алгоритмов и схемотехнических решений, обеспечивающих освобождение канала в первой ячейке и поиск свободного канала с восстановлением по нему связи во второй ячейке.

Реализация описанных основных принципов сотовой архитектуры:

- использование маломощных передатчиков с радиопокрытием небольших по размеру ячеек;
- повторное использование частот в пределах одной зоны обслуживания;
- поэтапное увеличение пропускной способности за счет расщепления ячеек;
- обеспечение непрерывности связи в процессе перемещения объекта от ячейки к ячейке -

привела в начале 80-х годов к созданию в ряде промышленно развитых стран Европы и Северной Америки ССПС, которые положили начало массовому внедрению услуг подвижной связи во всем мире.

Развернутые в 80-х годах ССПС относят к первому поколению. К ним относятся стандарты AMPS (США), NMTS (Япония), NMT-450 и NMT-900 (Северная Европа), C-450 (Германия), TACS (Великобритания), ETACS (Англия, Лондон), RTMS-101H (Италия) и Radiocom-200 (Франция). Они были рассчитаны в основном на обслуживание абонентов в рамках национальных границ, использовали аналоговую ЧМ для передачи речи и внутрисполосную (in-band) сигнализацию в процессе установления соединения между абонентскими терминалами и остальной сетью. Исключение составляла лишь система NMT-450 (NMT-900), которая была введена в эксплуатацию в 1981 году как международная система для четырех стран Северной Европы: Дании, Финляндии, Норвегии и Швеции.

Однако, аналоговые ССПС уже не удовлетворяют современному уровню развития связи. Тем не менее один из аналоговых стандартов - NMT-450 - принят в качестве федерального стандарта России. На его основе созданы ССПС в Москве ("Московская сотовая связь", начало коммерческой эксплуатации - 1991 год, в настоящее время - более 20 тысяч абонентов), Санкт-Петербурге ("Дельта-Телеком") и других городах. В июне 1994 года началась коммерческая эксплуатация ССПС компании "Би-Лайн", использующей стандарт AMPS. В настоящее время данная ССПС предоставляет услуги цифровой сотовой связи в стандарте D-AMPS, обслуживает более 20 тысяч абонентов в Москве и области и обеспечивает административный роуминг с другими сетями этого стандарта.

Системы второго поколения проектировались для создания крупномасштабных сетей с учетом обеспечения международного "роуминга" - автоматическое обслуживание абонентов, приехавших со своими терминалами в другую страну. К настоящему времени разработано четыре стандарта:

- пан-Европейский GSM;
- два конкурирующих североамериканских ADC (D-AMPS) по стандарту TIA IS-54 и CDMA по стандарту TIA IS-95;
- японский JDC.

Стандарт GSM является наиболее прогрессивным, его основные характеристики подробнее рассматриваются ниже.

Стандарт D-AMPS разрабатывался в США с 1987 года. FCC не смогла выделить отдельную полосу частот в диапазоне 900 МГц для перспективной цифровой ССПС США. Ассоциация промышленности сотовой связи (CTIA) совместно с TIA приняли решение о совмещении в одной полосе частот аналоговой ССПС стандарта AMPS и будущей цифровой ССПС, сохранив используемый в AMPS разнос каналов, равный 30 кГц, при использовании речевого кодека VSELP со скоростью преобразования речи 8 кбит/с. Стандарт TIA IS-54 на ССПС ADC (D-AMPS) был принят в 1990 году. Несмотря на то, что D-AMPS не полностью цифровое решение (используются аналоговые каналы управления), он оказался более прогрессивным, чем AMPS, и в настоящее время более 2 млн. абонентов в 14 странах мира, включая Россию, используют эту технологию.

ССПС, использующая кодовое разделение каналов CDMA, были разработаны фирмой Qualcomm (США) и развиваются фирмой Motorola. На системы CDMA TIA приняла стандарт IS-95. В сентябре 1995 года в Гонконге начата коммерческая эксплуатация первой сети CDMA данного стандарта на оборудовании фирмы Motorola.

В апреле 1991 года был принят японский стандарт цифровой ССПС JDC. Стандарт JDC рассчитан на работу в диапазонах частот 800/900 МГц и 1400/1500 МГц, использует так

же как D-AMPS временное разделение каналов с тремя временными окнами на несущую. К особенностям JDC следует отнести прямую связь с ISDN, возможность шифрования передаваемых сообщений, применение речевого кодека VSELP со скоростью преобразования речи 11,2 кбит/с, меньший, чем в D-AMPS, разнос частотных каналов - 25 кГц. В целом цифровая ССПС Японии во многом не уступает ССПС стандарта GSM и по некоторым параметрам превосходит американскую ССПС стандарта D-AMPS.

Рассмотрим характеристики пан-Европейского стандарта GSM.

В 1982 году CEPT в целях изучения и разработки общеевропейской цифровой системы сотовой связи создала рабочую группу, получившую название GSM (Group Special Mobile). В 1989 году дело создания GSM перешло к ETSI, а в 1990 году были опубликованы спецификации первой фазы GSM. К середине 1991 года стали поддерживаться коммерческие услуги GSM, а к 1993 году функционировало уже 36 сетей GSM в 22 странах, и еще 25 стран выбрали направление GSM или поставили вопрос о его принятии. Несмотря на то, что система GSM была стандартизирована в Европе, на самом деле она не является исключительно европейским стандартом. Сети GSM внедрены, либо планируются к внедрению почти в 60 странах Европы, Ближнего и Дальнего Востока, Африки, Южной Америки и в Австралии. В начале 1994 года число абонентов GSM во всем мире достигло 1,3 миллиона человек. К началу 1995 года их насчитывалось уже более 5 миллионов. Акроним GSM приобрел новое значение - Global System for Mobile communications.

Система GSM построена на основе новейшей технологии в виде цифровой системы с программным управлением, совместимой с цифровой телефонной сетью общего пользования интегрального обслуживания (ISDN). В ней использованы:

- ЭМ ВОС;
- система сигнализации SS7;
- принципы построения интеллектуальной сети IN/1.

Элементы этой системы способны контролировать и управлять всеми основными характеристиками сигнала в процессе передачи. Система обладает достаточным "интеллектом" для обнаружения возникшего отклонения в работе, его диагностики, принятия решения и проведения необходимой коррекции.

В ней реализована большая часть возможностей ISDN плюс дополнительные возможности, связанные с особенностями подвижной радиосети: управление по радио, слежение за местоположением подвижного объекта, обеспечение функции эстафетной передачи, защита передаваемой информации и т.п. Инфраструктура сети создает и постоянно обновляет объемные базы данных, содержащие необходимые сведения об абонентах и их местоположении, устраняет все обнаруженные неполадки, модифицирует свою конфигурацию по мере изменения нагрузки и выполняет множество других функций по эксплуатации и обслуживанию сети, тарификации, взаимодействия с другими стационарными и подвижными сетями.

Для системы GSM допустимое отношение мощностей несущей и помех в канале связи составляет 9 дБ, в аналоговых системах этот показатель, как правило, близок к 18 дБ. Выигрыш в 9 дБ объясняется известными преимуществами цифровой обработки сигналов и, в частности, использованием устройств типа:

- речевых кодеков, устойчивых к помехам в канале связи;

- эффективных цифровых модуляторов, благодаря которым основная часть энергии радиосигнала оказывается сосредоточенной в полосе частот канала связи;
- помехоустойчивых кодов в сочетании с процедурой перемежения;
- корректоров, способных обеспечить работу в условиях многолучевого распространения сигналов с предельно допустимой дополнительной задержкой отраженных лучей 16 мкс;
- перестраиваемых синтезаторов частот, позволяющих улучшить работу в условиях многолучевого распространения сигналов.

Системы GSM работают в диапазоне около 900 МГц, который разбит на два поддиапазона шириной по 25 МГц (Рис. 8.36): 890..915 МГц для передачи от портативных устройств к базовой станции и 935..960 МГц для приема, т.е. используется организация дуплексной связи с частотным разделением (FDD). Каждый частотный поддиапазон разбит на 124 частотных канала с разнесом между соседними 200 кГц (ширина полосы каждого частотного канала не превышает 200 кГц). Речевой канал системы GSM использует пару частотных каналов с результирующим разнесом 45 МГц независимо от абсолютных значений несущих частот в обоих поддиапазонах. Наличие разнеса препятствует появлению переходных помех между направлениями приема и передачи.

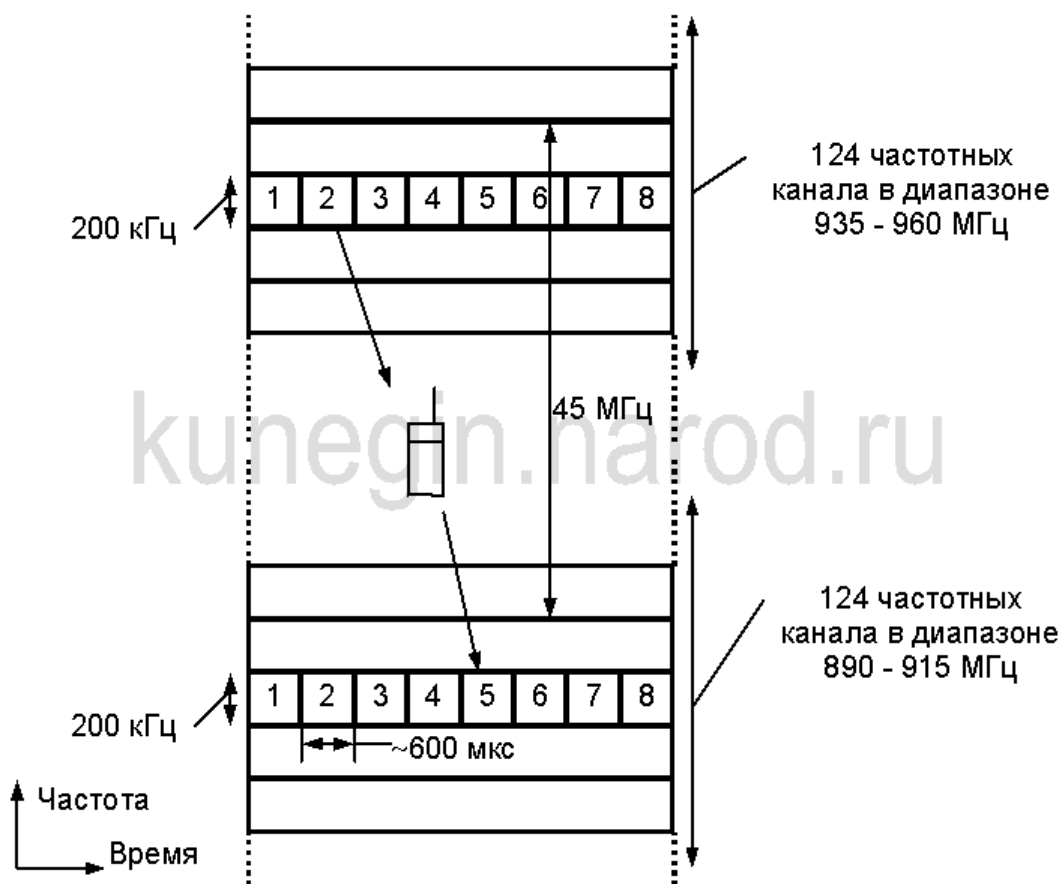


Рис. 8.36. Временная и частотная структура GSM

В каждом частотном канале данные передаются в 8 канальных интервалах (КИ), т.е. используется временное разделение каналов. Восемь КИ объединяются в цикл, а 26 циклов - в повторяющийся циклически сверхцикл длительностью 120 мс. Длительность КИ составляет около 600 мкс. Структура КИ показана на Рис. 8.37. Конкретное портативное устройство ведет передачу сигнала базовой станции в одном из КИ. В течении остальных КИ передача не ведется (передатчик "молчит").



Рис. 8.37. Структура КИ GSM

В начале и конце КИ отводятся по 28 мкс на продолжительность переходных процессов, в ходе которых мощность излучения передатчика меняется (возрастает в начале и падает в конце КИ) на 70 дБ. Полезная продолжительность КИ составляет 546,12 мкс и служит для передачи 148 бит.

В одном из КИ, в котором передача не ведется, портативное устройство осуществляет прием сигнала от базовой станции, т.е. используется одна и та же антенна с разделением во времени.

Расстояния между портативным устройством и базовой станцией в пределах соты может достигать 30 км. В результате задержка распространения сигнала может достигать 100 мкс. Такая задержка серьезно влияет на работу базовой станции, поскольку переданный КИ может частично попасть на соседний. Поэтому базовая станция может посылать команды портативному устройству на опережение передачи, чтобы сигнал поступал на базовую станцию в своем КИ.

Также базовая станция в зависимости от расстояния до портативного устройства может осуществлять регулировку излучаемой мощности последнего с целью уменьшения расхода энергоресурса.

Одной из особенностей работы систем сотовой радиосвязи является прием сигналов в условиях многолучевого распространения (на входе приемника действует совокупность сигнала непосредственно пришедшего от передатчика и сигналов, многократно отразившихся от неровностей рельефа, зданий и т.п.). Многолучевое распространение приводит к таким нежелательным явлениям, как растянутая задержка сигнала, релейские замирания и пр.

Избежать последствий многолучевого распространения позволяет механизм выравнивания сигналов. Он состоит в делении полезной длительности КИ на три части, в свою очередь разделенные битами флагов (см. Рис. 8.37). В середине располагается специальная легко распознаваемая синхропоследовательность, по которой производится выравнивание принятого КИ. До и после синхропоследовательности располагаются по 57 бит информационной нагрузки.

Функция эстафетной передачи в GSM. В отличие от централизованного управления, характерного для систем первого поколения, в системе GSM принят принцип распределенного управления между центром коммутации подвижной связи, базовыми станциями и подвижными терминалами. В течение всего сеанса связи подвижные



терминалы измеряют уровни сигналов от соседних базовых станций и результаты измерений сообщают обслуживающей их базовой станции. Последняя определяет необходимость хэндовера и передает информацию о наиболее предпочтительной новой ячейке для обслуживания подвижного объекта системному контроллеру центра коммутации подвижной связи. Благодаря такому алгоритму распределенного управления большая часть работы выполняется не системным контроллером, а базовыми станциями и подвижными терминалами, что позволяет избежать перегрузки центрального звена и упростить процедуру эстафетной передачи.

Система GSM предоставляет пользователям широкий ассортимент услуг, как речевых, так и неречевой природы. Помимо телефонии к речевым услугам относят вызовы спецслужб (полиция, скорая помощь, пожарные и т.п.), как правило, путем набора номера 112, который принят на Европейском континенте в качестве стандарта, и речевую почту.

Набор неречевых услуг основывается на перечне услуг ISDN и для абонентов сети GSM состоит из трех с половиной десятков наименований. Услуги по передаче данных различаются в зависимости от потенциальных корреспондентов (абоненты телефонной сети общего пользования, либо ISDN, либо специализированных сетей), от характера передаваемой информации (данные, факсимиле, видеотекст, телетекст и пр.), от режима передачи (коммутация пакетов либо каналов, сквозной цифровой канал либо с использованием телефонных модемов и пр.), от типа терминалов и т.д. Специфическими для подвижной сети являются службы коротких сообщений (SMS - Short Message Service) (исходящие, входящие и вещательные), которые по сути дела представляют собой разновидность службы персонального вызова (пейджинга).

Стандарт GSM принят в России в качестве федерального. С января 1996 года в Москве и области началась коммерческая эксплуатация ССПС стандарта GSM. Оператором сети является компания "Московские ТелеСистемы" (МТС). Сеть обслуживает более 12 тысяч абонентов и обеспечивает автоматический роуминг со странами Европы.

Дальнейшим развитие систем сотовой подвижной связи осуществляется в рамках проекта создания ССПС третьего поколения. В Европе работы по созданию ССПС третьего поколения, получившей название универсальная система подвижной связи (UMTS - Universal Mobile Telecommunication System), проводятся СЕРТ по исследовательской программе RACE. Концепция создания UMTS предусматривает объединение функциональных возможностей существующих цифровых систем связи в единую систему с предоставлением стандартизированных услуг подвижной связи (сотовой, беспроводной, персонального вызова и пр.).

Работы по созданию единой международной ССПС третьего поколения, получившей название FPLMTS, проводит МСЭ.

По прогнозам фирмы Vodafone (Великобритания) к 2000 году ожидается следующее распределение абонентов ССПС различных стандартов: GSM - 59%, JDC - 20%, D-AMPS - 13%, CDMA - 3%, прочие - 5%.

#### **8.5.4. Системы персонального радиовызова**

Современный рынок услуг подвижной связи характеризуется высокими темпами развития систем персонального радиовызова (СПРВ), которые гармонично сопрягаются с системами радиосвязи и передачи данных.

Персональный вызов (пейджинг) - услуга электросвязи, обеспечивающая беспроводную одностороннюю передачу информации в пределах обслуживаемой зоны. По назначению СПРВ можно разделить на частные (ведомственные) и общего пользования.

*Частные СПРВ* обеспечивают передачу сообщений в локальных зонах или на ограниченной территории в интересах отдельных групп абонентов. Как правило, передача сообщений в таких системах осуществляется с пультов управления диспетчерами без взаимодействия с телефонной сетью общего пользования (ТФОП).

Под СПРВ *общего пользования* понимается совокупность технических средств, через которые через ТФОП происходит передача в радиоканале сообщений ограниченного объема. Развитие СПРВ происходит путем внедрения техники автоматического взаимодействия с ТФОП, применения цифровых способов передачи вызовов (адресов) и сообщений в буквенно-цифровом коде, повышения пропускной способности и помехоустойчивости, через миниатюризацию и уменьшение потребления электроэнергии оконечными устройствами.

В настоящее время различными фирмами США, Великобритании, Японии и других стран разработаны многочисленные типы национальных и частных СПРВ. Ключевым фактором в развитии СПРВ явилась стандартизация радиointерфейса.

В 1978 году был впервые опубликован стандарт на код POCSAG (Post Office Code Standartization Group) и были сделаны предложения по его широкому внедрению для передачи тональных сообщений. В 1979 году был опубликован код POCSAG для передачи цифровых и буквенно-цифровых сообщений со скоростью 512 бит/с, позже скорость была доведена до 1200 и 2400 бит/с. Код POCSAG был утвержден МККР в 1982 году (рекомендация 584). Сегодня код POCSAG применяется в большинстве существующих СПРВ.

Требования к функциональному развитию сетей СПРВ, увеличению скорости передачи сообщений, а также интеграции национальных сетей СПРВ в транснациональные привели к необходимости разработки в рамках ETSI общеевропейского стандарта на СПРВ, получившего название ERMES (European Radio MESSaging System). Стандарт был одобрен в 1992 году.

К основным достоинствам СПРВ ERMES относятся:

- общая сеть для всех европейских стран и общеевропейский роуминг;
- общий радиointерфейс, обеспечивающий высокую емкость сети при передаче различных видов сообщений, включая текстовые, в узкой полосе частот;
- общая спецификация на приемники персонального радиовызова.

Предусмотрена возможность интеграции с СПРВ POCSAG. Ожидается, что к 2000 году услугами СПРВ ERMES будут пользоваться около 100 млн. абонентов.

Новым направлением в развитии СПРВ является разработанный фирмой Motorola код FLEX и СПРВ на его основе. Основными достоинствами кода и СПРВ FLEX по отношению к СПРВ POCSAG являются: повышенная скорость передачи сообщений, большая емкость системы, улучшенные характеристики помехоустойчивости канала и обеспечение более экономичного режима работы пейджера. Фирмой представлены пейджеры, поддерживающие все три стандарта - POCSAG, ERMES и FLEX.

Начало внедрения СПРВ в нашей стране относится к 1980 году, когда в Москве в период летних Олимпийских игр была открыта СПРВ на основе оборудования фирмы Multi-Tone (Великобритания).

Второй этап развития СПРВ в России относится к осени 1993 года, когда практически одновременно начали работу компании "Вессо-Линк", "Радио-Пейдж" и "Информ-Эском". В настоящее время услугами СПРВ в Москве пользуются более 60 тысяч абонентов.

### **8.5.5. Системы беспроводных телефонов**

Системы беспроводных телефонов (Cordless Telephony) общего пользования составляют значительную конкуренцию сотовым системам связи. Первоначально системы СТ были ориентированы на ограниченное по территории использование в условиях квартир и офисов. Позже они стали развиваться как системы общего пользования.

В 1985 году СЕРТ предложила первый стандарт СТ1 на систему беспроводных телефонов в полосе частот 900 МГц с 40 дуплексными каналами с ЧРК. Низкое качество связи и отсутствие секретности передачи речевых сообщений явилось основанием к разработке систем цифровых беспроводных телефонов. Новый стандарт, получивший обозначение СТ2, был разработан в Великобритании, обеспечивал конфиденциальность переговоров и лучшее, чем СТ1, качество приема речевых сообщений. В стандарте СТ2 применяется диапазон частот 864-868 МГц и организация дуплексной связи с ВРК. Стандарт СТ2 был принят за основу при создании систем Telepoint, предназначенных для общего доступа абонентов через радиопорты, установленные в городе, к телефонной сети общего пользования. Протокол радиointерфейса СТ2 был принят ETSI и получил обозначение ETS-300 131.

В 1992 году ETSI принял стандарт ETS-300 175 на общеевропейскую систему беспроводных телефонов DECT, предназначенную для передачи речевых сообщений и данных в полосе частот 1880..1900 МГц.

В США компанией Bellcore разработана система беспроводной связи общего доступа PACS для участков диапазонов частот, выделенных FCC для сетей персональной связи: 1850..1910 МГц и 1930..1990 МГц. По своему функциональному назначению PACS является близким аналогом стандарта DECT, но ориентирована на использование в рамках принятого в США распределения спектра частот и концепции развития персональной связи, отличающихся от европейских.

Система беспроводной связи, основанная на использовании портативных телефонов, получившая обозначение PHS, разработана и успешно внедряется в Японии. PHS обеспечивает двухстороннюю беспроводную связь в рамках микросотовой архитектуры сети. Радиointерфейс PHS основан на применении ВРК и временного дуплексного разделения режимов приема и передачи. Рабочий диапазон частот 1895..1918 МГц.

Рассмотрим подробнее характеристики общеевропейской системы беспроводных телефонов DECT. Стандарт DECT (Digital European Cordless Telecommunications) был опубликован ETSI в 1992 году, а первые коммерческие продукты, соответствующие этому стандарту, появились в 1993 году. Первоначально они представляли собой в основном средства для построения беспроводных УАТС, а также обычные домашние беспроводные ТА.

Позднее появились другие приложения DECT, которые начали разрабатываться еще в процессе определения стандарта. В их состав вошли: средства систем местной радиосвязи (RLL - Radio in the Local Loop); системы, обеспечивающие беспроводный доступ к ресурсам сетей общего пользования для абонентов с ограниченной мобильностью (CTM - Cordless Terminal Mobility); средства, позволяющие аппаратуре DECT работать с сотовыми сетями (например, GSM).

Стандарт DECT разработан в соответствии с ЭМ ВОС. Особенностью стандарта является гарантия возможности "сосуществования" систем связи на одной территории при отсутствии координации их работы и необходимости планирования частот, что необходимо в обычных сотовых сетях.

Стандарт DECT разрабатывался для удовлетворения сложной системы радиосвязи - беспроводной УАТС. Среда беспроводной УАТС характеризуется высокой плотностью трафика и строгими требованиями к качеству и конфиденциальности связи. Системы DECT в качестве алгоритма преобразования речи используют АДИКМ со скоростью передачи 32 кбит/с, что обеспечивает качество передачи речи такое же, как у стационарных стандартных телефонных сетей.

Системы DECT работают в диапазоне 1880..1900 МГц, который разбит на 10 частотных каналов. В каждом частотном канале данные передаются циклически в 24 канальных интервалах (КИ), т.е. используется принцип ВРК. В первой половине КИ осуществляется передача от базовой станции к портативным устройствам, а во второй половине - в обратном направлении, т.е. применяется организация дуплексной связи с временным разделением (TDD). Каждый из речевых каналов использует пару КИ, что означает возможность применения 120 речевых каналов (Рис. 8.38).

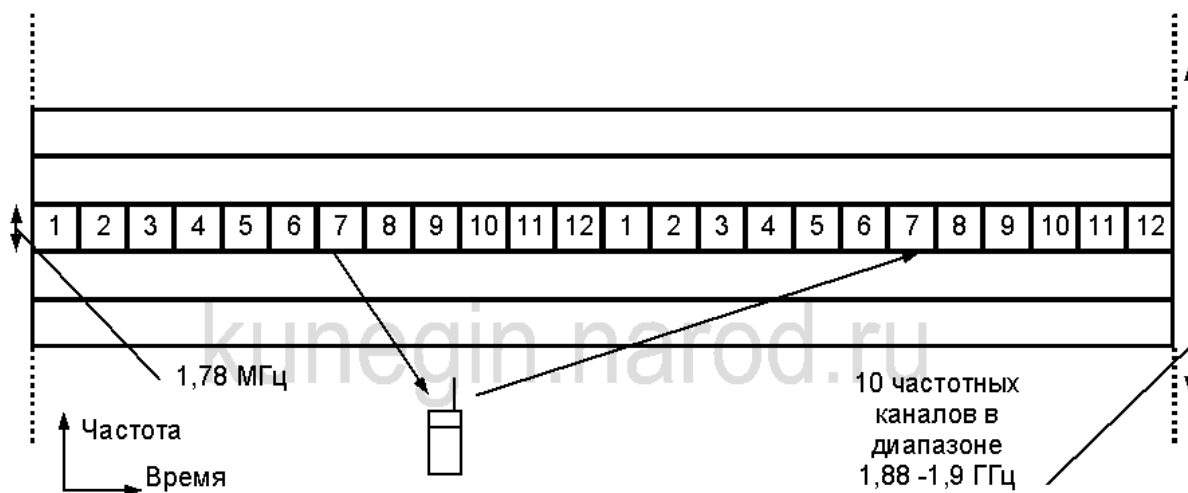


Рис. 8.38. Структура кадра системы DECT

Механизм выбора каналов, известный как непрерывный динамический выбор канала (Continuous Dynamic Channel Selection - CDSCS), позволяет системам функционировать "бок о бок" при отсутствии координирования их работы. Любое из портативных устройств DECT в принципе имеет доступ к любому из 120 каналов. Когда необходимо установить соединение, портативное устройство DECT выбирает канал, обеспечивающий наиболее качественную связь. После того как соединение установлено, данное устройство продолжает анализировать диапазон, и если обнаруживается канал, гарантирующий лучшее качество связи, то переключает соединение на него. Старое и новое соединение перекрываются во времени, что обеспечивает возможность незаметного переключения.

Благодаря применению CDSC в системах DECT не требуется планирования частот: решение этой проблемы, фактически, перекладывается на портативное устройство связи.

Стандарт DECT предусматривает функции защиты, такие как шифрование и аутентификацию.

В Европе DECT является обязательным стандартом. В США на основе DECT создается стандарт на средства связи, работающие в диапазоне 1850-1990 МГц, выделенных FCC для систем персональной связи (PCS).

Основные способы использования стандарта DECT показаны на Рис. 8.39, Рис. 8.40 и Рис. 8.41.

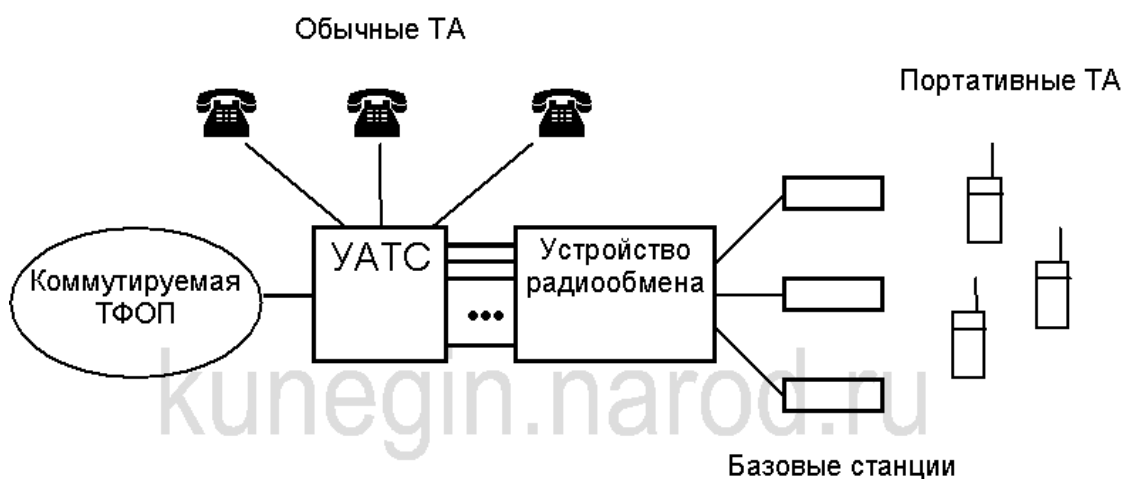


Рис. 8.39. Архитектура беспроводной УАТС, поддерживающий стандарт DECT. Устройство радиообмена, в рамках стандарта DECT именуемое также стационарной подсистемой общего управления (Common Control Fixed Part - CCFP), работает в качестве шлюза между УАТС и беспроводной системой



Рис. 8.40. Архитектура системы RLL, соответствующей стандарту DECT

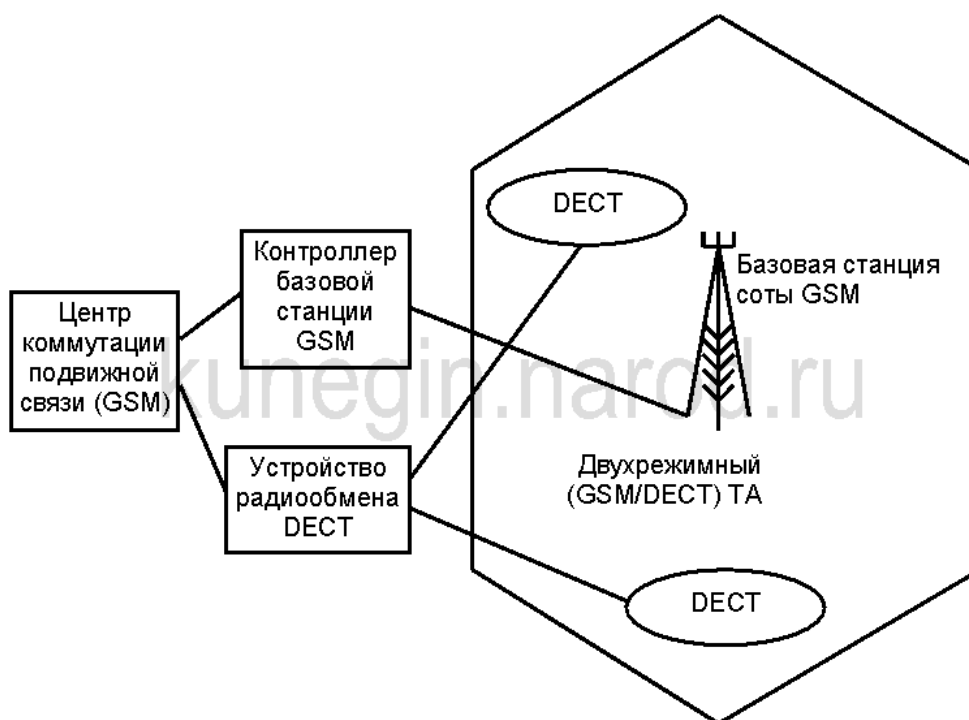


Рис. 8.41. Взаимодействие DECT и GSM: "островки" DECT внутри ячеек (сот) GSM обеспечивают дополнительные каналы связи для пользователей с ограниченной мобильностью

## 8.6. Телематические службы

Появление телематических служб явилось результатом взаимопроникновения новых технологий вычислительной техники и средств связи.

По определению МСЭ-Т "телематические службы - службы электросвязи (кроме телефонной, телеграфной и служб передачи данных), которые организуются с целью обмена информацией через сети электросвязи".

Первая телематическая служба Телетекс появилась в начале 80-х годов. Телетекс - буквенно-цифровая система передачи деловой корреспонденции, предназначенная для обслуживания учреждений и предприятий. Эта система несколько напоминает систему Телекс (абонентский телеграф - АТ), но отличается от нее сохранением формы текста, значительно большим набором знаков, большей скоростью передачи, высокой достоверностью (одна ошибка на 400 страниц печатного текста), возможностью редактировать подготовляемую к передаче документацию. Принципиальное преимущество Телетекса перед Телексом - отсутствие необходимости дважды работать на клавиатуре - при подготовке письма и при его передаче; это достигается благодаря тому, что подготовленный текст запоминается ОЗУ абонентского терминала, откуда сообщение автоматически передается по сети связи.

Абонентский терминал Телетекса состоит из персональной ЭВМ (ПЭВМ), модема, работающего по телефонной сети со скоростью 1200...2400 бит/с, и специального программного обеспечения. Некоторые типы терминалов Телетекса предназначены для работы по сетям данных с коммутацией пакетов.

Для расширения услуг службы Телетекс и улучшения ее технико-экономических показателей на телефонной сети устанавливают специализированные ЭВМ-конверторы, память которых разделена на отдельные участки - боксы. Сообщения, направляемые

абоненту службы Телетекс по присвоенному ему адресу, могут быть приняты в бокс конвертора, а затем запрошены абонентом в удобное для него время.

Конверторы позволяют также взаимодействовать абонентам служб Телетекс и Телекс. Непосредственное взаимодействие абонентских установок Телетекса и Телекса невозможно из-за различий в знаках, скоростях, кодах и методах передачи, системах сигнализации и пр. Наличие на сети конверторов позволяет использовать для обмена письмами имеющиеся в организациях и на предприятиях персональные ЭВМ, присоединяя их через модем к телефонной сети только на время передачи и получения писем.

Телефакс - факсимильная служба общего пользования, предназначенная для передачи сообщений между абонентскими факсимильными аппаратами.

Факсимильная служба *группы 1* осуществляет аналоговую передачу без сжатия данных и передачу факсимильных сообщений по ОАКТС. Страница текста передается примерно за 10 мин. Факсимильная служба *группы 2* имеет ограниченные возможности сжатия данных, страница текста передается по ОАКТС за 3 мин. Факсимильная служба *группы 3* позволяет передавать сигналы в цифровой форме с реализацией алгоритма сжатия данных. Страница текста передается по ОАКТС за время, меньшее 1 мин. Факсимильная служба *группы 4* также предусматривает передачу сигналов в цифровой форме и сложный алгоритм сжатия данных. Информация может передаваться по цифровой сети (например, ISDN), причем страница текста - менее чем за 1 с.

Терминалы факсимильных служб автоматически выполняют следующие функции:

- установление соединений;
- передачу, прием и регистрацию сообщений;
- идентификацию правильности установления соединения;
- проставление оттиска штампа на оригинале и копии документа;
- регистрацию служебной информации на контрольной ленте (операционный журнал);
- накопление в запоминающем устройстве некоторого объема передаваемых и принятых сообщений.

Бюрофакс - служба общего пользования для передачи документов между факсимильными аппаратами, расположенными в отделениях связи, в которые клиенты сдают подлежащие передаче оригиналы. Доставка клиентам сообщений, принятых по службе Бюрофакс в отделениях связи, осуществляется так же, как телеграмм.

Телерукопись - служба передачи графической информации, которая отображается на приемном конце согласно движениям "пера", пишущего на передающем конце. Сообщения, которые могут представлять собой рукописный текст, рисунки, чертежи и т.п., наносятся отправителем на бумагу, лежащую на специальном планшете. На приемном конце сообщения воспроизводятся на бумаге или чаще всего - на экране дисплея. Во многих случаях телерукопись дополняет телефонную службу. При этом письменные сообщения передаются по телефонному каналу со скоростью 300 бит/с. Эта служба представляет особенно большой интерес для глухих и немых пользователей.

Видеотекс - информационно-справочная служба, дающая возможность пользователям с помощью оконечных терминалов и стандартных процедур доступа получать информацию из банков данных (БД) по сетям электросвязи.

Служба Видеотекс предоставляет следующие услуги:

- информационный поиск - получение абонентами информации путем диалога с банком данных;
- транзакция - ввод или модификация абонентами информации, хранящейся в БД; для пользования этой услугой требуется выполнять специальные функции и процедуры подтверждения права доступа к ней;
- управление сообщениями - связь абонентов друг с другом путем накопления сообщений в общедоступном БД; накопленные сообщения могут быть получены по запросу абонента или предоставляться автоматически;
- обмен сообщениями между оконечными установками обмен информацией между абонентами в диалоговом режиме;
- обработка данных - использование памяти БД для обработки информации или использование программ и других данных из БД в соответствующем оконечном оборудовании службы Видеотекс;
- взаимодействие с другими телематическими службами доступ абонентов к услугам и/или абонентам других телематических служб.

При необходимости получать информацию из БД пользователь с помощью стандартного телефонном аппарата набирает номер БД и в ответ получает сигнал определенной частоты (2106 Гц), после чего нажатием кнопки на терминале отключает ТА и переводит терминал в режим диалога с БД. В подтверждение установления логического соединения терминала с БД на дисплее терминала пользователя появляется "кадр приветствия". Далее БД с помощью вводимого пользователем пароля идентифицирует абонента. При положительном решении пользователю предоставляется возможность получения интересующей информации с помощью специально разработанной системы меню. С этого момента абонент может работать с банком данных по правилу запрос - ответ.

В службе Видеотекс используются абонентские терминалы трех типов специализированные, на базе ПЭВМ, на базе бытового телевизора.

Специализированные терминалы представляют собой законченные изделия, объединяющие в одном корпусе мини-ЭВМ, дисплей, клавиатуру, модем.

Терминал второго типа содержит ПЭВМ, модем и программное обеспечение Видеотекса.

Терминал третьего типа, рассчитанный в основном на использование в быту, представляет собой приставку к телевизору и состоит из логического устройства, простейшей клавиатуры (тастатуры) и модема.

Служба обработки сообщений (электронная почта) предоставляет пользователям возможность передачи сообщений через промежуточные накопители (метод коммутации сообщений). В системе ЭП терминалы отправителя и получателя могут быть разного типа. Система обеспечивает необходимые преобразования.

Сообщения передаются и принимаются автоматически. ЭП выполняет ряд функций секретаря абонента - сортировка принятых сообщений, просмотр очереди подготовленных к отправке сообщений. Служба предоставляет возможность контроля за прохождением сообщения. Важной услугой ЭП является защита сообщений от НСД, обеспечение целостности информации, сохранение ее конфиденциальности, аутентификация пользователей.



Для ЭП обычно используется сеть передачи данных с коммутацией пакетов, а также телефонные сети и некоммутируемые каналы.

Телетекст в отличие от всех указанных выше служб является циркулярной, симплексной и не интерактивной. Информация хранится в виде блоков (страниц) в БД, аналогичных БД службы Видеотекс, но меньших по объему. Информация передается по сети ТВ вещания с циклическим повторением страниц.

Передача сообщений Телетекста может идти вместо ТВ программы или одновременно с ней. Терминалом служит ТВ приемник, снабженный специальной приставкой. В телевизоры пятого поколения такие приставки встроены. Абонент с помощью имеющейся в телевизоре или приставке клавиатуры выбирает нужные ему страницы.

Справочная служба (СС) - единая для всех служб электросвязи; основная функция СС - нахождение адреса (номера) по имени пользователя (например, номера телефона фирмы по ее названию), а также выдача сведений о порядке пользования службами, их характеристиках, тарифах и т.п. Может также использоваться для аутентификации абонентов. Основа СС - распределенная база данных, с которой абоненты работают в интерактивном режиме (запрос - ответ).

Служба телеконференции позволяет проводить в реальном масштабе времени конференции между пользователями, расположенными в разных местах, с помощью терминалов и сетей электросвязи. Различают *аудиографические* и *видеоконференции*. В первых передаются звуковые сигналы и неподвижные изображения, во вторых - звуковые сигналы и подвижные изображения.

При вводе сообщения с терминала участника конференции оно воспроизводится на дисплеях всех других участников, терминалы которых включены в тот же канал. Распорядок работы конференции устанавливает ее ведущий, он предоставляет "слово для выступления" и имеет право лишить любого из участников возможности выступить. Участники конференции могут ознакомиться с "присутствующими" на ней, пригласить к обмену информацией абонента сети, обсудить назначение ведущего, переслать другим участникам частные сообщения.

Телеконференции бывают постоянно действующими и ограниченными по времени проведения. Первые образуют неформальные коллективы и группы по определенным интересам и предоставляют возможность обмена актуальной информацией по мере надобности, накопления распределенной базы данных по какой-то тематике. Служба телеконференций, работающая в реальном масштабе времени, выгодно отличается этим от компьютерных конференций, основанных на принципе промежуточного накопления информации.

В настоящее время в связи с бурным развитием глобального мирового сообщества сетей Internet роль части телематических служб постепенно падает, а часть телематических служб реализуется соответствующими сервисами Internet.

## **9. Список сокращений**

АВУ	Абонентское высокочастотное уплотнение
АДИКМ	Адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция
АДМ	Адаптивная дельта-модуляция
АИМ	Амплитудно-импульсная модуляция

АЛ	Абонентская линия
АМ	Амплитудная модуляция
АМ-ОБП	Амплитудная модуляция с одной боковой полосой
АМТС	Автоматическая междугородная телефонная станция
АОН	Автоматическое определение номера
АОП	Аппаратура оперативного переключения
АТ	Абонентский телеграф
АТС	Автоматическая телефонная станция
АТСДШ	Декадно-шаговая автоматическая телефонная станция
АТСК	Координатная автоматическая телефонная станция
АТСКЭ	Квазиэлектронная автоматическая телефонная станция
АТСЭ	Электронная автоматическая телефонная станция
АФМ	Амплитудно-фазовая модуляция
АЦ	Аналого-цифровое (преобразование)
АЦО-ТВ	Аналого-цифровое оборудование для телевизионного сигнала
АЦО-ЧРКВ	Аналого-цифровое оборудование для вторичной группы систем с частотным разделением каналов
АЦП	Аналого-цифровой преобразователь
БАЛ	Блок абонентских линий
БД	Банк данных, база данных
бит/с	Единица измерения скорости передачи
БСЛ	Блок соединительных линий
БЧХ	Код Боуза - Чоудхури - Хоквингема
В	Вольт, единица измерения напряжения
ВГ	Вторичная группа
ВЗПС	Внутризоновая первичная сеть
ВЛС	Воздушная линия связи
ВОЛС	Волоконно-оптическая линия связи
ВОС	Взаимодействие открытых систем
ВОСП	Волоконно-оптическая система передачи
ВР	Выбирающая рейка
ВРК	Временное разделение каналов
ВС	Вторичная сеть
ВСС	Взаимовязанная сеть связи
Вт	Ватт, единица измерения мощности
ВТЧ	Выделитель тактовой частоты
ВЧ	Высокие частоты
ВЭ	Выбирающий электромагнит
ВЭО	Высокая эллиптическая орбита
ГВЧ	Гипервысокие частоты
ГГ	Генератор гармоник
ГИ	Групповое искание
ГКЭС	Государственная комиссия по электросвязи

ГКРЧ	Государственная комиссия по распределению частот
ГН	Генератор несущей
ГО	Генераторное оборудование
ГСО	Геостационарная орбита
ГТС	Городская телефонная сеть
Гц	Герц, единица измерения частоты
Д	Детектор
дБ	Децибел, относительная логарифмическая единица
дБм	Децибел, единица измерения уровня передачи по мощности
дБн	Децибел, единица измерения уровня передачи по напряжению
ДИ	Дискретная информация
ДМ	Дельта-модуляция
ДС	Дифференциальная система
ДЧ	Делитель частоты
ДШИ	Декадно-шаговый искатель
ЕАСС	Единая автоматизированная сеть связи
ЗВ	Звуковое вещание
ЗГ	Задающий генератор
ИКМ	Импульсно-кодовая модуляция
ИОС	Информационная обратная связь
ИСЗ	Искусственный спутник Земли
КАМ	Квадратурная амплитудная модуляция
КВП	Код высокой плотности единиц
КВЧ	Крайневысокие частоты
КИ	Канальный интервал
КК	Коаксиальный кабель
КП	Коммутационное поле
КПД	Коэффициент полезного действия
КПН	Комплект приема номера
КСС	Команда согласования скоростей
КУ	Коммутационный узел
КЭ	Коммутационный элемент
ЛИ	Линейное искание
ЛК	Линейный код
ЛК	Линейный комплект
ЛР	Линейный регенератор
ЛС	Линия связи
МБ	Местная батарея
МВВ	Мультиплексор ввода-вывода
МГС	Многokратный герконовый соединитель
МГТС	Московская городская телефонная сеть
МККТТ	Международный Консультативный Комитет по Телеграфии и Телефонии
МКС	Многokратный координатный соединитель

МОС	Международная организация стандартизации
МПТВ	Многопрограммное телевидение
МСП	Местная первичная сеть
МСЭ	Международный союз электросвязи
МСЭ-Р	Сектор радиосвязи Международного союза электросвязи
МСЭ-Т	Телекоммуникационный сектор стандартизации Международного союза электросвязи
МЧПИ	Модифицированный код с чередующейся полярностью импульсов
НВО	Низковысотная орбита
НРП	Необслуживаемый регенерационный пункт
НСД	Несанкционированный доступ
НТВ	Непосредственное телевизионное вещание
НУП	Необслуживаемый усилительный пункт
НЧ	Низкие частоты
ОАКТС	Общегосударственная автоматически коммутируемая телефонная сеть
ОАЛТ	Оконечная аппаратура линейного тракта
ОВ	Оптическое волокно
ОВЧ	Очень высокие частоты
ОКС	Общий канал сигнализации
Ом	Единица измерения сопротивления электрическому току
ОМ	Однополосная модуляция
ОНЧ	Очень низкие частоты
ОП	Оконечный пункт
ОРП	Обслуживаемый регенерационный пункт
ОС	Обратная связь
ОС	Отклоняющая система
ОСС	Отрицательное согласование скоростей
ОСШ	Отношение сигнал/шум
ОУП	Обслуживаемый усилительный пункт
ОФМ	Относительная фазовая модуляция
ОЦК	Основной цифровой канал
ПГ	Первичная группа
ПИ	Предварительное искание
ППА	Приемопередающая аппаратура
ПРПГ	Параллельная работа первичных групп
ПРС	Промежуточная радиостанция
ПС	Первичная сеть
ПС	Подстанция
псоф	Псофометрическая единица измерения
ПСП	Псевдослучайная последовательность
ПСС	Приемник синхросигнала
ПСС	Положительное согласование скоростей
ПСС	Подвижная спутниковая служба

ПУУ	Периферийное управляющее устройство
ПФ	Полосовой фильтр
ПЦИ	Плезиохронная цифровая иерархия
ПЧ	Преобразователь частоты
ПЭВМ	Персональная электронно-вычислительная машина
Рад/с	Единица измерения круговой частоты
РАТС	Районная автоматическая телефонная станция
Рег	Регистр
РК	Разделение каналов
РНИ	Разнонаправленный интерфейс
РРЛ	Радиорелейная линия
РРС	Радиорелейная система
РСС	Радиовещательная спутниковая служба
РТПС	Радиотелевизионная передающая станция
РУ	Развязывающее устройство
СВЧ	Сверхвысокие частоты
СК	Симметричный кабель
СКК	Сеть с коммутацией каналов
СКК	Сигнально-кодовая конструкция
СКП	Сетью с коммутацией пакетов
СКС	Сеть с коммутацией сообщений
СЛ	Соединительная линия
СМП	Сеть магистральная первичная
СНИ	Сонаправленный интерфейс
СП	Система передачи
СПРВ	Система персонального радиовызова
СРО	Светоразделительная оптика
СС	Синхросигнал
СС	Самосинхронизирующийся скремблер
СС	Спутниковая связь
СС	Справочная служба
ССПС	Сотовая система подвижной радиосвязи
СТС	Сельская телефонная сеть
СУВ	Сигналы управления и взаимодействия
СЦИ	Синхронная цифровая иерархия
СЦС	Сверхцикловой синхросигнал
СЧ	Средние частоты
ТА	Телефонный аппарат
ТВ	Телевидение
ТВЧ	Телевидение высокой четкости
ТГ	Третичная группа
ТФОП	Телефонная сеть общего пользования
ТЧ	Тональная частота

УАТС	Учрежденческая автоматическая телефонная станция
УВХ	Устройство выборки-хранения
УВЧ	Ультравысокие частоты
УОС	Управляющая обратная связь
УПТС	Учрежденческо-производственная телефонная станция
УР	Удерживающая рейка
УУ	Управляющее устройство
УЭ	Удерживающий электромагнит
Ф	Фарада, единица измерения электрической емкости
ФАПЧ	Фазовая автоподстройка частоты
ФВ	Фазовращатель
ФВЧ	Фильтр верхних частот
ФИМ	Фазо-импульсная модуляция
ФМ	Фазовая модуляция
ФНЧ	Фильтр нижних частот
ФС	Фокусирующая система
ФСС	Фиксированная спутниковая служба
ЦА	Цифрово-аналоговое (преобразование)
ЦАП	Цифрово-аналоговый преобразователь
ЦБ	Центральная батарея
ЦГИ	Интерфейс с центральным тактовым генератором
ЦКП	Центр коммутации пакетов
ЦКС	Центр коммутации сообщений
ЦПТ	Цветная передающая трубка
ЦСИО	Цифровая сеть интегрального обслуживания
ЦСП	Цифровая система передачи
ЦСС	Цикловой синхросигнал
ЧГ	Четверичная группа
ЧИМ	Частотно-импульсная модуляция
ЧМ	Частотная модуляция
ЧММС	Частотная модуляция с минимальным сдвигом
ЧНН	Час наибольшей нагрузки
ЧПИ	Код с чередующейся полярностью импульсов
ЧРК	Частотное разделение каналов
ШИ	Шаговый искатель
ШИМ	Широтно-импульсная модуляция
ШК	Шнуровой комплект
ЭВМ	Электронно-вычислительная машина
ЭДС	Электродвижущая сила
ЭМ	Эталонная модель
ЭППЧ	Эффективно передаваемая полоса частот
Эрл	Эрланг, единица измерения интенсивности нагрузки
ЭУМ	Электронная управляющая машина

AMI	Alternate Mark Inversion
ANSI	American National Standard Institute
ARQ	Automatic Repeat reQuest
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AU	Administrative Unit
AUG	Administrative Unit Group
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network
C	Container
CCFP	Common Control Fixed Part
CCITT	Comit� Consultatif International T�lgraphique et T�lphonique
CDCS	Continuous Dynamic Channel Selection
CDMA	Code Division Multiply Access
CELP	Code-excited linear prediction
CEPT	Conference of European Posts and Telegraphs
CMI	Coded Mark Inversion
CRC	Cyclic Redundancy Check
CT	Cordless Telephony
CTM	Cordless Terminal Mobility
DCS	Digital Communication Service
DECT	Digital European Cordless Telecommunications
DS	Digital Signal
DTMF	Dual Tone Multi Frequency
E&M	Ear and mouth
ECMA	European Computer Manufactures Association
EIA	Electronic Industrial Association
ERMES	European Radio MESSaging System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communication Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FDDI	Fibre Distributed Data Interface
FDMA	Frequency Division Multiply Access
FEXT	Far end cross talk
GSM	Global System for Mobile communications
HDB	High-Density Bipolar
HST	High Speed Technology
IAB	Internet Activities Board
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IN	Intelligent Network
IRTF	Internet Research Task Force
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Standard Organization
ITU	International Telecommunication Union

ITU-D	Telecommunication Development Sector of International Telecommunication Union
ITU-R	Radiocommunication Sector of International Telecommunication Union
ITU-T	Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LAN	Local Area Network
LD-CELP	Low delay code-excited linear prediction
MAN	Metropolitan Area Network
MF	Multi Frequency
MOS	Mean Opinion Score
MPEG	Motion Picture Experts Group
MP-MLQ	Multipulse Maximum Likelihood Quantization
MSOH	Multiplexer Section OverHead
MTP	Ministry of Post and Telegraph
NEXT	Near end cross talk
NMT	Nordic Mobil Telephone
NRZ	Non Return to Zero
NTSC	National Television System Committe
OSI	Open System Interconnect
PAL	Phase Alternated Line
PAMR	Public Access Mobile Radio
PCM	Pulse Code Modulation
PCS	Personal Communication Service
PDC	Personal Digital Communication
PEP	Packetized Ensemble Protocol
PMR	Professional Mobile Radio
POCSAG	Post Office Code Standartization Group
POH	Path OverHead
RFC	Request for Comments
RLL	Radio in the Local Loop
RPE-LTP	Regular Pulse Excitation - Long Term Prediction
RSOH	Regenerator Section OverHead
RZ	Return to Zero
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SECAM	SEquentiel Couleur A Memoire
SMS	Short Message Service
SOH	Section OverHead
SONET	Synchronous Optical NETWORK
SS7	Signaling system # 7
STM	Synchronous Transport Module
TCM	Trellis Coded Modulation
TDMA	Time Division Multiply Access



TIA	Telecommunication Industrial Association
TP	Twisted pair
TU	Tributary Unit
TUG	Tributary Unit Group
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTP	Unshielded twisted pair
VC	Virtual Container
VSELP	Vector-sum-excited linear prediction

## 10. Литература

1. Прагер Э., Шимек Б., Дмитриев В.П. Цифровая техника в связи / Под ред. В.В.Маркова. - М.: Радио и связь; Прага, SNTL, 1981. - 280 с., ил.
2. Зингеренко А.М., Баева Н.Н., Тверецкий М.С. Системы многоканальной связи. - М.: Связь, 1980. - 439 с.
3. Нормы на электрические параметры каналов ТЧ магистральной и внутризональных первичных сетей. Приложение к приказу Министерства связи РФ от 15.04.96 № 43.
4. Вемян Г.В. Передача речи по сетям электросвязи. - М.: Радио и связь, 1985. - 272 с., ил.
5. Дальняя связь: Учеб. пособие для вузов / Л.Н.Астраханцев, А.М.Зингеренко, Б.К.Изаксон и др.; Под ред А.М.Зингеренко. М.: Связь, 1970. - 408 с., ил.
6. Назаров М.В., Прохоров Ю.Н. Методы цифровой обработки и передачи речевых сигналов. - М.: Радио и связь, 1985. - 176 с., ил.
7. Метрологическое обеспечение систем передачи: Учеб. пособие для вузов / Б.П.Хромой, В.Л.Серебрин, А.Л.Сенявский и др.: Под ред. Б.П.Хромого. - М.: "Радио и связь", 1991. - 392с., ил.
8. Давыдов Г.Б. и др. Сети элетросвязи. М., "Связь", 1977.
9. Радиорелейные и спутниковые системы передачи: Учебник для вузов / А.С.Немировский, О.С.Данилович, Ю.И.Маримонт и др. Под ред. А.С.Немировского. - М.: Радио и связь, 1986. - 392 с.: ил.
10. 100 лет радио: Сб. статей / Под ред. В.В.Мигулина, А.В.Гороховского - М.: Радио и связь, 1995. - 384 с.: ил.
11. Многоканальная связь и РРЛ / Баева Н.Н., Бобровская И.К., Брескин В.А., Федорова Е.Л.: Учебник для вузов связи. - М.: Радио и связь, 1984. - 216 с., ил.
12. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи: Учебник для вузов. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1988. - 544 с.: ил.
13. Волоконно-оптические системы передачи и кабели: Справочник / И.И.Гроднев, А.Г.Мурадян, Р.М.Шарафутдинов и др. - М.: Радио и связь, 1993. - 264 с.: ил.
14. Автоматическая коммутация: Учебник для вузов / О.Н.Иванова, М.Ф.Копп, З.С.Коханова, Г.Б.Метельский; Под ред. О.Н.Ивановой. - М.: Радио и связь, 1988. - 624 с.: ил.
15. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / В.И.Иванов, В.Н.Гордиенко, Г.Н.Попов и др.; Под ред. В.И.Иванова. - М.: Радио и связь, 1995. - 232 с.: ил.
16. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов / А.Г.Зюко, Д.Д.Кловский, М.В.Назаров, Л.М.Финк. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1986. - 304 с.: ил.
17. Хаусли Т. Системы передачи и телеобработки данных. Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1994. - 456 с.: ил.

18. Cisco Connection Documentation, Enterprise Series, Volume 3, Number 6. Cisco Systems, Inc., 1996.
  19. Рекомендации МККТТ серий G, V, E, F, I, H, M, P, Q, T, X, L. Синяя книга, Мельбурн, 1988.
-