

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова

Кафедра физики

Ю.П. Мартынюк А.Ю. Валентова

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Учебно-методическое пособие

Костанай, 2020

УДК 537.86
ББК 32.841
М29

Авторы:

Мартынюк Юрий Петрович, магистр естественных наук, старший преподаватель кафедры физики,
Валентова Анна Юрьевна, старший преподаватель кафедры физики

Рецензенты:

Джаманбалин Кадыргали Коныспаевич доктор физико-математических наук, ректор Костанайского социально – технического университета им. академика Зулкарнай Алдамжар

Поезжалов Владимир Михайлович, кандидат физико – математических наук, профессор КРУ, доцент кафедры физики.

Кошкин Игорь Владимирович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой электроэнергетики КРУ им.А.Байтурсынова.

М29 Мартынюк Ю.П.

Системы передачи информации: Учебно-методическое пособие/ Ю.П. Мартынюк, А.Ю. Валентова – Костанай: КРУ имени А. Байтурсынова, 2021. – 112 с.

ISBN 978-601-7481-98-8

В учебно-методическое пособие включены основные положения по системам передачи информации.

Предназначено для студентов специальности Физика; оно может быть рекомендовано преподавателям высших учебных заведений при проведении учебных занятий по Системам передачи информации.

УДК 537.86
ББК 32.841

Утверждено и рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом Костанайского региональный университета имени А. Байтурсынова,
«___» _____ 2021г., протокол № ___

ISBN 978-601-7481-98-8

© Костанайский региональный университет им. А. Байтурсынова

Содержание.

Введение.	5
Тема 1. Общие понятия о передаче информации.	6
1.1 Основные определения.	6
1.2 Уровни передачи сигнала.	7
1.3 Параметры первичных сигналов.	9
Тема 2. Системы электросвязи.	13
2.1 Основные определения.	13
2.2 Классификация видов электросвязи.	13
Тема 3. Стандартизация телекоммуникационных сетей.	16
Тема 4. Архитектура сетей электросвязи.	25
4.1 Телефонные сети.	25
4.2 Вещательные сети.	26
4.3 Вычислительные (компьютерные) сети.	27
Тема 5. Линии связи.	30
5.1 Кабельные и воздушные линии связи на основе металлических проводников.	30
5.2 Проблема электромагнитной совместимости.	33
5.3 Волоконно-оптические линии связи.	35
5.4 Радиолинии.	38
Тема 6. Методы разделения каналов.	42
6.1 Основные понятия и определения.	42
6.2 Частотное разделение сигнала.	43
6.3 Временное разделение каналов.	47
6.4 Разделение сигналов по форме.	50
6.5 Методы модуляции в системах связи.	52
Тема 7. Локальные вычислительные сети.	59
7.1 Основные сведения.	59
7.2 Технология Ethernet.	60
Тема 8. Оборудование аналоговых телефонных сетей	75
8.1 Телефонные аппараты.	75
8.2 Телефонная сигнализация.	79
8.3 Системы абонентской сигнализации.	80
Тема 9. Сети сотовой связи.	82
9.1 Общие принципы построения сотовых сетей подвижной связи	82
9.2 Сетевая технология GSM.	86
Тема 10. Системы радиосвязи.	97
10.1 Радиолинии и системы передачи сообщений с радиоканалами	97
10.2 Радиопередающие устройства	98
10.3 Радиоприёмные устройства.	99
10.4 Антенны и фидеры.	100
10.5 Радиорелейные системы передачи.	105
10.6 Радиосистемы передачи на декаметровых волнах.	106
10.7 Спутниковые системы связи.	107

Заключение.	111
Список использованных источников	112

Введение

Широкое применение электронных средств связи в быту, науке, технике, а также профессиональной деятельности выпускников, вызывает огромный интерес, проявляемый учащимися к этой области знаний и требует достаточно глубокой подготовки будущего специалиста - физика в области радиотехники.

Современная электросвязь - это собирательное название ряда областей науки и техники, связанных с генерацией, передачей, приемом и преобразованием, хранением информации [1]. Основные из них - теория информации, модуляция, кодирование и декодирование, теория длинных линий, сюда же можно включить опто- и микроэлектронику и функциональную микроэлектронику.

Современная техника связи не ограничивается электромагнитными колебаниями радиодиапазона. Используются и более короткие волны вплоть до оптического диапазона. Основная задача, решаемая при проектировании устройств связи - разработка методов и устройств передачи, приема, обработки и хранения информации, передаваемой с помощью условных сигналов. Информационный процесс протекает как передача, преобразование и хранение сигналов. В связи с этим, техника связи не может обойтись без методов и инструментария электроники. Информационная направленность радиоэлектроники послужила базой для возникновения новых направлений науки и техники, в частности технической кибернетики, вычислительной и информационной техники.

С другой стороны, несмотря на крайне широкое распространение устройств передачи, приема и обработки информации, обучающиеся часто сталкиваются с различными проблемами в изучении теоретического материала. Не в последнюю очередь это связано с недостаточно подробным освещением этих вопросов в специализированной литературе. Ликвидировать данные недостатки и призвано предлагаемое учебное пособие.

Тема 1. Общие понятия о передаче информации

1.1 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. 1 показаны виды аналогового и дискретного сигналов.

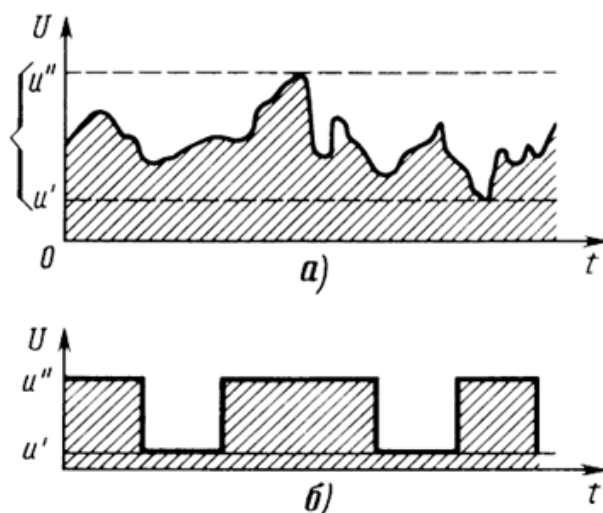


Рисунок 1. Виды сигналов: а - аналогового, б – дискретного

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).

1.2 Уровни передачи сигнала

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 (1):

$$p = m \log_a \frac{S}{S_0} \quad (1)$$

где m - масштабный коэффициент; a - основание логарифма.

Уровни передачи измеряются в децибелах, если справедливы соотношения: для уровней по мощности:

$$p_M = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \text{ дБм} \quad (2)$$

для уровней по напряжению:

$$p_M = 20 \lg \frac{U}{U_0}, \text{ дБн} \quad (3)$$

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 :

$$U_0 = \sqrt{P_0 R_0}, I_0 = \sqrt{P_0 / R_0} \quad (4)$$

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.2.

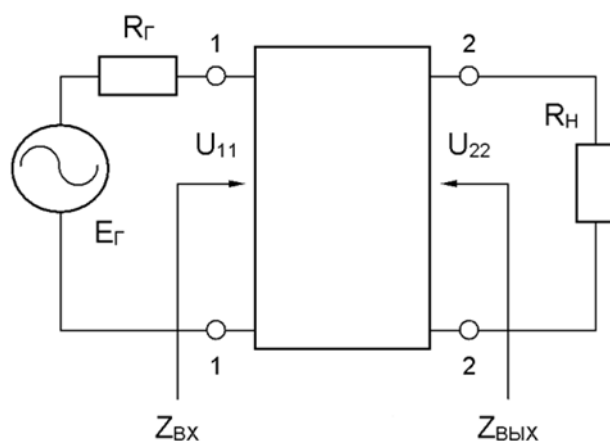


Рисунок 2.Схема известного генератора

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_G , развиваемая ЭДС E_G (или напряжение на входе объекта $U_{ВХ}$). Входное сопротивление объекта R_G 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_H уровень называется измерительным.

1.3 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.) 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.), причем их амплитуды убывают с увеличением частоты со скоростью приблизительно 12 дБ на октаву (кривая 1 на Рис. 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.

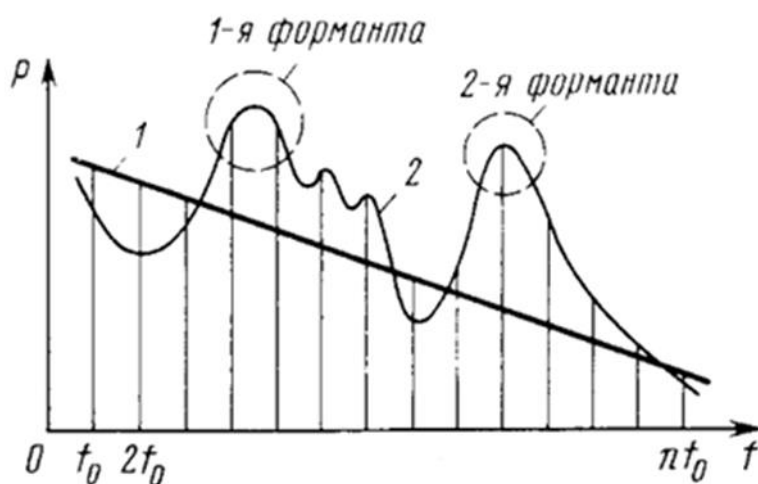


Рисунок 3. Спектральный состав речевого сигнала

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.). Области повышенной мощности гармоник частоты основного тона называются **формантами** (см. Рис. 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 $P_{Тлф}$.** 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 $P_{СР}$ 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 $p_{СР} = 10lg(32мкВт/1мВт) = -15дБм_0$
- **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 максимальной и минимальной мощности сигнала

$$D_C = 10lg \frac{P_{max}}{P_{min}}, \text{ дБ} \quad (4)$$

Динамический диапазон телефонного сигнала составляет $D_C = 35 \dots 40$ дБ;

- **пик-фактор сигнала**

$$Q = 10lg \frac{P_{max}}{P_{СР}}, \quad (5)$$

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

- **энергетический спектр речевого сигнала** - область частот, в которой сосредоточена основная энергия сигнала (Рис. 4)

$$\beta = 10lg \left(\frac{\Pi^2(f)}{\Pi_0^2} \right) \Delta f \quad (6)$$

где $P^2(f)$ - спектральная плотность среднего квадрата звукового давления; P_0 - порог слышимости (минимальное звуковое давление, которое начинает ощущаться человеком с нормальным слухом на частотах 600..800 Гц); $\Delta f = 1$ Гц. Из Рис.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.

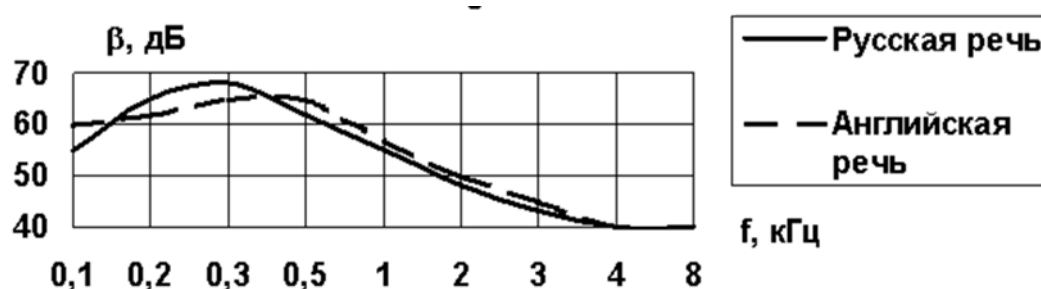


Рисунок 4. Энергетический спектр речевого сигнала

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 построения строчной 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 $D_C = 40$ 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.

Тема 2. Системы электросвязи.

2.1 Основные определения

Система электросвязи - это совокупность технических средств и среды распространения, обеспечивающая передачу сообщений.

Обобщенная структурная схема систем электросвязи показана на рис. 5. Сообщение с выхода источника сообщения (ИС) при помощи преобразователя сообщение - сигнал (Пр. С-С) преобразуется в первичный электрический сигнал, которые 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. С вызова линии связи сигналы поступают на вход приемника (ПРМ) и через (Пр. С-С) - потребителю сообщения (ПС).



Рисунок 5. Обобщенная структурная схема системы электросвязи

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.

2.2 Классификация видов электросвязи

Условная классификация современных видов электросвязи по критерию реального времени и отложенной доставки показана на рис. 6.



Рисунок 6. Классификация видов электросвязи по критерию реального времени и отложенной доставки

В зависимости от временного режима доставки сообщений, виды электросвязи могут быть разделены на

- *предназначенные для работы в реальном времени*
- *осуществляющие отложенную доставку сообщений.*

Классификация систем электросвязи по видам передаваемых сообщений и среды распространения приведена на рис.7.



Рисунок 7. Классификация систем электросвязи по видам передаваемых сообщений и среды распространения.

Все виды электросвязи по типу передаваемых сообщений могут быть разделены на *предназначенные для передачи звуковых и оптических сообщений*.

В зависимости от назначения сообщений виды электросвязи могут быть классифицированы на предназначенные для передачи сообщений индивидуального и массового характера.

Приведенные на рис. 6 и рис. 7 классификации достаточно условны, 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.

Тема 3. Стандартизация телекоммуникационных сетей

Универсальный тезис о пользе стандартизации, справедливый для всех отраслей, в компьютерных сетях приобретает особое значение.

Суть *сети* - это *соединение разного оборудования*, а значит, проблема совместимости является одной из наиболее острых. Без принятия всеми производителями общепринятых правил построения оборудования прогресс в деле строительства сетей был бы невозможен. Поэтому все развитие компьютерной отрасли, в конечном счете, отражено в стандартах - любая новая технология только тогда приобретает законный статус, когда ее содержание закрепляется в соответствующем стандарте.

В компьютерных сетях идеологической основой стандартизации является многоуровневый подход к разработке средств сетевого взаимодействия. Именно на основе этого подхода была разработана стандартная семиуровневая модель взаимодействия открытых систем, ставшая своего рода универсальным языком сетевых специалистов. Организация взаимодействия между устройствами в сети является сложной задачей. Как известно, для решения сложных задач используется универсальный прием - декомпозиция, т. е. разбиение одной сложной задачи на несколько более простых задач-модулей. Процедура декомпозиции включает в себя четкое определение функций каждого модуля, решающего отдельную задачу, и интерфейсов между ними. В результате достигается логическое упрощение задачи, кроме того, появляется возможность модификации отдельных модулей без изменения остальной части системы.

При декомпозиции часто используют многоуровневый подход. Он заключается в следующем. Все множество модулей разбивают на уровни. Уровни образуют иерархию, то есть имеются вышележащие и нижележащие уровни. Множество модулей, составляющих каждый уровень, сформировано таким образом, что для выполнения своих задач они обращаются с запросами только к модулям непосредственно примыкающего нижележащего уровня. С другой стороны, результаты работы всех модулей, принадлежащих некоторому уровню, могут быть переданы только модулям соседнего вышележащего уровня. Такая иерархическая декомпозиция задачи предполагает четкое определение функций каждого уровня и интерфейсов между уровнями. Интерфейс определяет набор функций, которые нижележащий уровень предоставляет вышележащему. В результате иерархической декомпозиции достигается относительная независимость уровней, а значит, и возможность их легкой замены.

Формализованные правила, определяющие последовательность и формат сообщений, которыми обмениваются сетевые компоненты, лежащие на одном уровне, но в разных узлах, называются протоколом. Модули, реализующие протоколы соседних уровней и находящиеся в одном узле, также взаимодействуют друг с другом в соответствии с четко определенными правилами и с помощью стандартизованных форматов сообщений. Эти правила принято

называть интерфейсом. Интерфейс определяет набор сервисов предоставляемый данным уровнем соседнему уровню. В сущности, протокол и интерфейс выражают одно и то же понятие, но традиционно в сетях за ними закрепили разные области действия: протоколы определяют правила взаимодействия модулей одного уровня в разных узлах, а интерфейсы - модулей соседних уровней в одном узле. Средства каждого уровня должны отрабатывать, во-первых, свой собственный протокол, а во-вторых, интерфейсы с соседними уровнями.

Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети, называется стеком коммуникационных протоколов. Коммуникационные протоколы могут быть реализованы как программно, так и аппаратно. Протоколы нижних уровней часто реализуются комбинацией программных и аппаратных средств, а протоколы верхних уровней, как правило, чисто программными средствами. Программный модуль, реализующий некоторый протокол, часто для краткости также называют протоколом. При этом соотношение между протоколом - формально определенной процедурой и протоколом - программным модулем, реализующим эту процедуру, аналогично соотношению между алгоритмом решения некоторой задачи и программой, решающей эту задачу.

Понятно, что одни и тот же алгоритм может быть запрограммирован с разной степенью эффективности. Точно так же протокол может иметь несколько программных реализаций. Именно поэтому при сравнения протоколов следует учитывать не только логику их работы, но и качество программных решений. Более того, на эффективность взаимодействия устройств в сети влияет качество всей совокупности протоколов, составляющих стек, в частности, насколько рационально распределены функции между протоколами разных уровней и насколько хорошо определены интерфейсы между ними. Протоколы реализуются не только компьютерами, но и другими сетевыми устройствами: концентраторами, мостами, коммутаторами, маршрутизаторами.

Из того что протокол является соглашением, принятым двумя взаимодействующими объектами, совсем не следует, что он обязательно является стандартным. Но на практике при реализации сетей стремятся использовать стандартные протоколы. Это могут быть фирменные, национальные или международные стандарты. В широком смысле открытой системой может быть названа любая система, которая построена в соответствии с открытыми спецификациями. Под термином «спецификация» понимают формализованное описание аппаратных или программных компонентов, способов их функционирования, взаимодействия с другими компонентами, условий эксплуатации, ограничений и особых характеристик. Использование при разработке систем открытых спецификаций позволяет третьим сторонам разрабатывать для этих систем различные аппаратные или программные средства расширения и модификации, а также создавать программно-аппаратные комплексы из продуктов разных производителей.

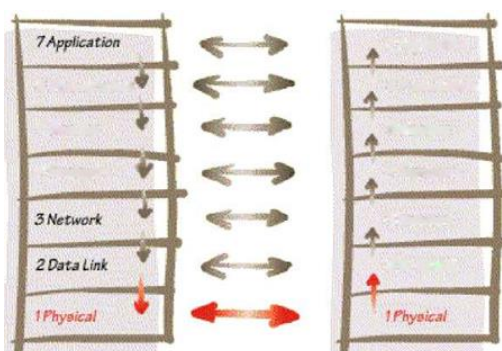
Модульность - одно из неотъемлемых свойств сетей. Разнообразные требования, предъявляемые потребителями к компьютерным сетям, привели к такому же разнообразию выпускаемых для построения сети устройств и программ. В результате не существует компании, которая смогла бы обеспечить производство полного набора всех типов оборудования и программного обеспечения, требуемого для построения сети. Но так как все компоненты сети должны работать согласованно, необходимым оказалось принятие стандартов, которые гарантировали бы совместимость оборудования и программ различных фирм-изготовителей. Модульный подход только тогда дает преимущества, когда сопровождается следованием стандартам. Совместимость достигается после того, как все производители реализуют этот стандарт в своих изделиях, причем одинаковым образом.

В начале 80-х гг. ряд международных организаций по стандартизации - ISO, ITU-T и некоторые другие - разработали модель, которая сыграла значительную роль в развитии сетей. Эта модель называется моделью взаимодействия открытых систем. (Open System Interconnection) или моделью OSI. Эталонная модель OSI, иногда называемая стеком OSI представляет собой 7-уровневую сетевую иерархию (рис. 8.) разработанную Международной организацией по стандартам (International Standardization Organization - ISO). Эта модель содержит в себе по сути две различные модели:

- *горизонтальную модель на базе протоколов, обеспечивающую механизм взаимодействия программ и процессов на различных машинах;*
- *вертикальную модель на основе услуг, обеспечиваемых соседними уровнями друг другу на одной машине.*

В горизонтальной модели двум программам требуется общий протокол для обмена данными.

В вертикальной - соседние уровни обмениваются данными с использованием интерфейсов API (Application Program Interface - программный интерфейс приложения).



7 Application	5 Session	3 Net-wart
6 Presentation	5 Session	2 Data
6 PrcSentatfcn	4 Transport '	Lint
	4 Transport	

Рисунок 8. Модель OSI

Протоколы нижних четырех уровней обобщенно называют сетевым транспортом или транспортной подсистемой, так как они полностью решают задачу транспортировки сообщений с заданным уровнем качества в составных сетях с произвольной топологией и различными технологиями. Остальные три верхних уровня решают задачи предоставления прикладных сервисов на основании имеющейся транспортной подсистемы.

Функции всех уровней модели OSI могут быть отнесены к одной из двух групп:

- *зависящие от конкретной технической реализации сети и используемого коммуникационного оборудования (три нижних уровня). Например, переход на оборудование FDDI означает полную смену протоколов физического и канального уровней;*

- *ориентированные на работу с приложениями (прикладной представительный, сеансовый) - мало зависят от технических особенностей построения сети;*

Транспортный уровень является промежуточным, он скрывает все детали функционирования нижних уровней от верхних. Это позволяет разрабатывать приложения, не зависящие от технических средств непосредственной транспортировки сообщений.

Уровень 1, физический.

Физический уровень получает пакеты данных от вышележащего канального уровня и преобразует их в оптические или электрические сигналы, соответствующие 0 и 1 бинарного потока. Эти сигналы посылаются через среду передачи на приемный узел. Механические и электрические/оптические свойства среды передачи определяются на физическом уровне и включают:

- Тип кабелей и разъемов.
- Разводку контактов в разъемах.
- Схему кодирования сигналов для значений 0 и 1.
- Длины физических сегментов.

К числу наиболее распространенных спецификаций физического уровня относятся:

- EIA-RS-232-C, CCITT V.24/V.28 - механические/электрические характеристики несбалансированного последовательного интерфейса.
- EIA-RS-422/449, CCITT V.10 - механические, электрические и оптические характеристики сбалансированного последовательного интерфейса.

- IEEE 802.3 - Ethernet.
- IEEE 802.5 - Token ring.

Уровень 2, канальный.

Канальный уровень обеспечивает создание, передачу и прием кадров данных. Этот уровень обслуживает запросы сетевого уровня и использует сервис физического уровня для приема и передачи пакетов.

Задачей канального уровня является:

- проверка доступности среды передачи;
- Реализация механизмов защиты от ошибок.

Спецификации IEEE 802.x делят канальный уровень на два подуровня: управление логическим каналом (LLC) и управление доступом к среде (MAC). LLC обеспечивает обслуживание сетевого уровня, а подуровень MAC регулирует доступ к разделяемой физической среде.

Наиболее часто используемые на уровне 2 протоколы включают:

- HDLC для последовательных соединений (High - Level Data Link Control - высокоуровневый протокол управления каналом).
- IEEE 802.2 LLC (тип I и тип II) обеспечивают MAC для сред 802.x.
- Ethernet -протокол управления доступом к сети в шинных и звездообразных топологиях.
- Token ring - протокол управления доступом к среде в кольцевых LAN.
- FDDI(Fiber Distributed Data Interface - распределенный интерфейс передачи данных по волоконно-оптическим сетям) - протокол с передачей маркера в высокоскоростных сетях.
- X.25 - протокол для взаимодействия конечной системы с сетями пакетной коммутации (в сетях ISDN).
- Frame relay - ретрансляция кадров (упрощение технологии коммутации пакетов)

На канальном уровне стандартизируются; формат кадра, тип защиты от ошибок.

В протоколах канального уровня, используемых в локальных сетях, заложена определенная структура связей между компьютерами и способы их адресации. Канальный уровень обеспечивает доставку кадра между двумя узлами локальной сети с той топологией, для которой он был разработан. В локальных сетях протоколы канального уровня используются компьютерами, мостами, коммутаторами и маршрутизаторами. В компьютерах функции канального уровня реализуются совместными усилиями сетевых адаптеров и их драйверов.

В глобальных сетях, которые редко обладают регулярной топологией, канальный уровень часто обеспечивает обмен сообщениями только между двумя соседними компьютерами, соединенными индивидуальной линией связи, а доставка сообщений через всю сеть осуществляется средствами сетевого

уровня. В ATM и Frame Relay функции канального уровня объединены с функциями сетевого уровня.

Уровень 3, сетевой.

Чтобы, с одной стороны, сохранить простоту процедур передачи данных для типовых топологий, а с другой, допустить использование произвольных топологий, вводится дополнительный сетевой уровень. ***Под сетью понимается в данном случае совокупность компьютеров, соединенных между собой в соответствии с одной из сетевых топологий и использующих для передачи данных один из протоколов канального уровня, определенных для этой топологии.*** Внутри сети доставка данных обеспечивается протоколом канального уровня, а доставкой данных между сетями занимается сетевой уровень, на котором стандартизируются: вид маршрутизации и процесс отображения локальных адресов в глобальный адрес сети

Сетевой уровень отвечает за деление пользователей на группы и создания надежных и гибких барьеров на пути нежелательного трафика между группами. Сетевой уровень обеспечивает также прозрачную передачу пакетов на транспортный уровень.

Наиболее часто на сетевом уровне используются протоколы:

- IP - протокол Internet.
- IPX - протокол межсетевых обмена.
- X.25 (частично этот протокол реализован на уровне 2.)
- CLNP - сетевой протокол без организации соединений.

На сетевом уровне определяются:

- сетевые протоколы - реализуют продвижение пакетов через сеть;
- протоколы маршрутизации - с их помощью маршрутизаторы собирают информацию о топологии межсетевых соединений;
- протоколы разрешения адресов (Address Resolution Protocol - ARP) - отвечают за отображение адреса узла, используемого на сетевом уровне, в локальный адрес сети.

Уровень 4, транспортный.

Транспортный уровень делит потоки информации на достаточно малые фрагменты (пакеты) для передачи их на сетевой уровень.

На этом уровне стандартизируются:

- приоритеты;
- восстановление прерванной связи;
- порядок мультиплексирования нескольких соединений между различными прикладными протоколами через общий транспортный протокол;
- порядок исправления ошибок передачи (искажение, потеря, дублирование пакетов).

Как правило, все протоколы, начиная с транспортного и выше, реализуются программными средствами конечных узлов сети - компонентами их сетевых операционных систем.

Наиболее распространенные протоколы транспортного уровня включают:

- TCP - протокол управления передачей.
- NCP - Netware Core Protocol .
- SPX - упорядоченный обмен пакетами.
- TP4 - протокол передачи класса 4.

В то время как задачей сетевого уровня является передача данных между произвольными узлами сети, задача транспортного уровня заключается в передаче данных между любыми прикладными процессами, выполняющимися на любых узлах сети. Действительно, после того, как пакет средствами протокола IP доставлен в компьютер-получатель, данные необходимо направить конкретному процессу-получателю. Каждый компьютер может выполнять несколько процессов, более того, прикладной процесс тоже может иметь несколько точек входа, выступающих в качестве адреса назначения для пакетов данных. Пакеты, поступающие на транспортный уровень, организуются операционной системой в виде множества очередей к точкам входа различных прикладных процессов. В терминологии TCP/IP такие системные очереди называются портами. Таким образом, адресом назначения, который используется на транспортном уровне, является идентификатор (номер) порта прикладного сервиса. Номер порта, задаваемый транспортным уровнем, в совокупности с номером сети и номером компьютера, задаваемыми сетевым уровнем, однозначно определяют прикладной процесс в сети.

Назначение номеров портов прикладным процессам осуществляется либо централизованно, если эти процессы представляют собой популярные общедоступные сервисы, типа сервиса удаленного доступа к файлам TFTP (Trivial FTP) или сервиса удаленного управления telnet либо локально для тех сервисов, которые еще не стали столь распространенными, чтобы за ними закреплять стандартные (зарезервированные) номера. Централизованное присвоение сервисам номеров портов выполняется организацией Internet Assigned Numbers Authority. Эти номера затем закрепляются и опубликовываются в стандартах Internet. Например, упомянутому выше сервису удаленного доступа к файлам TFTP присвоен стандартный номер порта 69. Локальное присвоение номера порта заключается в том, что разработчик некоторого приложения просто связывает с ним любой доступный, произвольно выбранный числовой идентификатор, обращая внимание на то, чтобы он не входил в число зарезервированных номеров портов. В дальнейшем все удаленные запросы к данному приложению от других приложений должны адресоваться с указанием назначенного ему номера порта.

Для обеспечения сетевых коммуникаций используются сокет. **Сокет - это конечная точка сетевых коммуникаций.** Каждый использующийся сокет имеет тип и ассоциированный с ним процесс. Сокеты существуют внутри коммуникационных доменов. **Домены - это абстракции, которые подразумевают конкретную структуру адреса и множество протоколов, которое определяет различные типы сокетов внутри домена.** Примерами коммуникационных доменов могут быть UNIX домен, Internet домен и т.д.

В Internet домене сокет - это комбинация IP адреса и номера порта, которая однозначно определяет отдельный сетевой процесс во всей глобальной сети Internet. Два сокета, один - для хоста-получателя, другой - для хоста-отправителя, определяют соединение для протоколов, ориентированных на установление связи, таких, как TCP.

Уровень 5, сеансовый.

Сеансовый уровень обеспечивает управление диалогом: фиксирует, какая из сторон является активной в данный момент, предоставляет средства синхронизации. На этом уровне стандартизируются:

- Порядок определения активной стороны.
- Включение контрольных точек в длинные передачи.

Протоколы сеансового уровня обычно являются составной частью функций трех верхних уровней модели и реализуются в одном протоколе с прикладным уровнем.

Уровень 6, уровень представления.

Уровень представления отвечает за возможность преодоления синтаксических различий в представлении данных или же различия в кодах символов, например, кодов ASCII и EBCDIC. Стандартизуется шифрование и дешифрование данных. Пример протокола уровня представления Secure Socket Layer (SSL) который обеспечивает секретный обмен сообщениями для протоколов прикладного уровня стека TCP/IP.

Уровень 7, прикладной.

Прикладной уровень отвечает за доступ приложений в сеть. Это набор протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам, таким как файлы, принтеры, гипертекстовые WEB-страницы, а также организуют свою совместную работу, например, с помощью протокола электронной почты. Задачами этого уровня является перенос файлов, обмен почтовыми сообщениями и управление сетью.

К числу наиболее распространенных протоколов верхних уровней относятся:

- FTP - протокол переноса файлов.
- TFTP - упрощенный протокол переноса файлов.
- X.400 - электронная почта.
- Telnet.
- SMTP - простой протокол почтового обмена.
- CMIP - общий протокол управления информацией.
- SNMP - простой протокол управления сетью.
- NFS - сетевая файловая система.
- FTAM - метод доступа для переноса файлов.

На рис. 9. показано соответствие коммуникационного оборудования модели OSI.

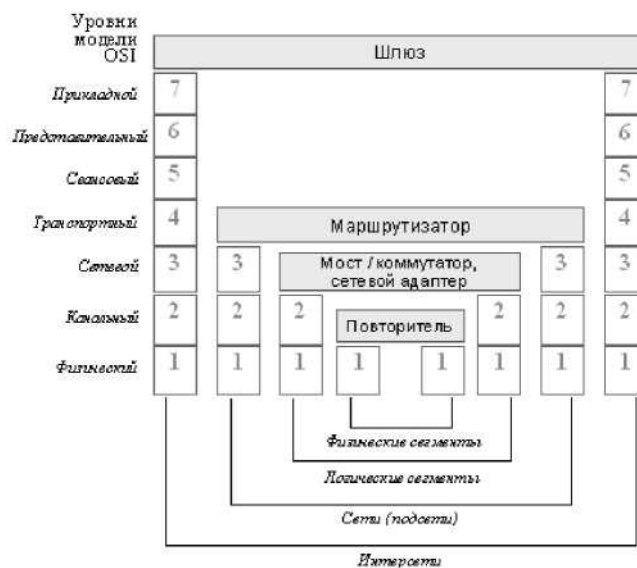


Рисунок 9. Соответствие коммуникационного оборудования модели OSI

1. Поскольку функции каждого уровня четко определены, стандарты могут разрабатываться одновременно и независимо для каждого уровня, что ускоряет процесс стандартизации.
2. Из-за четкого определения границ каждого уровня изменение стандартов одного уровня не затрагивает программное обеспечение на других уровнях, что облегчает ввод новых стандартов.

Недостатки многоуровневой модели:

1. Многоуровневая модель скорее предписывающая, чем описывающая, поэтому существует возможность определения на данном уровне нескольких протоколов, разных по функциональным возможностям, но общих по совместному использованию протоколов поддержки нижестоящего уровня.
2. Благодаря четким интерфейсам между уровнями можно заменять одни протоколы уровня другими без воздействия на другие уровни. Это не всегда желательно и возможно. На канальном уровне локальную сеть можно приспособить к групповой или широковещательной адресации. Если канальный уровень по стандарту IEEE 802 помещен ниже объекта сетевого протокола, не поддерживающего групповую или широковещательную передачу, то высшие уровни этой службой воспользоваться не смогут, т. е. не надо пренебрегать структурой протоколов.

Тема 4. Архитектура сетей электросвязи

4.1 Телефонные сети

Структура телефонных сетей может иметь следующую топологию:

- радиально-узловую (рис. 10): такую структуру имеют городские телефонные сети, если емкость сети не превышает 80...90 тыс. абонентов;
- радиально-узловую с узловыми районами (рис. 11). Используется при построении телефонных сетей крупных городов.

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**.*

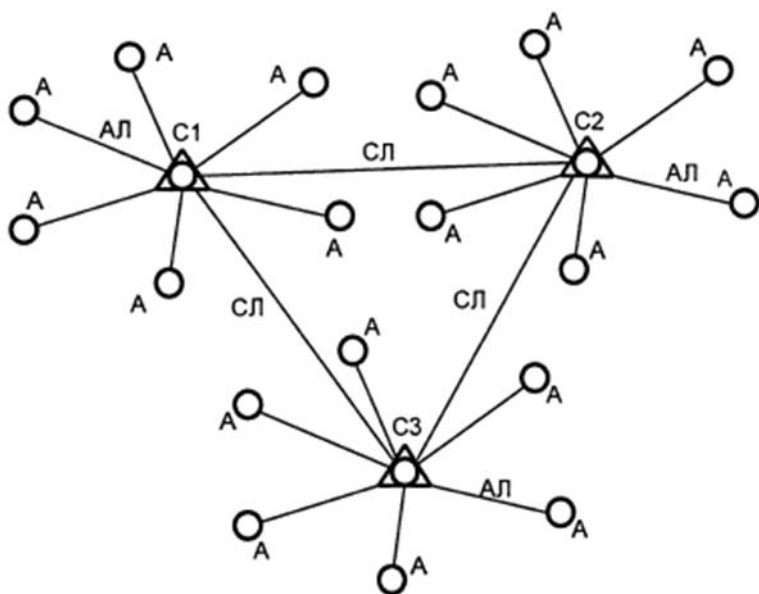


Рисунок 10. Радиально-узловая топология сети. А – абонентское устройство, А – абонентская линия, С – станции, СЛ – соединительная линия.

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).

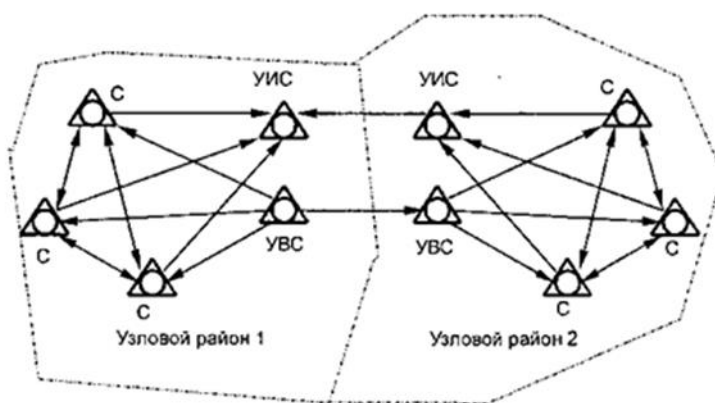


Рисунок 11. Топология радиально-узловой сети с узловыми районами. УВС – узел входящих сообщений. УИС – узел исходящих сообщений.

Разновидностью 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. В свою очередь, *СКП подразделяются на дейтаграммные* (от англ. datagram) и *сети виртуальных каналов*. В дейтаграммных сетях каждый из пакетов рассматривается как независимый информационный блок, причем пакеты могут проходить через сеть по различным маршрутам. В сетях виртуальных каналов до передачи пакетов через сеть выбирается оптимальный в некотором смысле маршрут, по которому затем передаются пакеты. *Последовательность узлов, входящих в выбранный маршрут, образуют собственно виртуальный канал*.

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

На практике наиболее широко применяются метод коммутации каналов и метод коммутации пакетов.

4.2 Вещательные сети

Важнейшими сетями передачи массовых сообщений являются *сети вещания*.

Вещание - процесс одновременной передачи сообщений общего назначения широкому кругу абонентов при помощи технических средств связи.

Вещательная программа - последовательность передачи во времени различных сообщений.

Организация вещания включает в себя две задачи: *подготовку 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.

Распределение программ в сети звукового вещания 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).

Распределение программ в сети телевизионного вещания 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 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.

Для передачи газет в настоящее время используются сети Internet и т.п.

4.3 Вычислительные (компьютерные) сети

Принципы построения сетей связи зависят от вида передаваемых и распределяемых сообщений.

В таблице 1 показаны преимущества и недостатки основных сетевых топологий. Все перечисленные топологии обладают свойством однородности, т.е. все компьютеры в такой сети имеют одинаковые права в отношении доступа к другим компьютерам. Это упрощает процедуру наращивания компьютеров, облегчает обслуживание и эксплуатацию сети.

Таблица 1. Преимущества и недостатки основных сетевых топологий.

Топология	Преимущества	Недостатки
Шина	Экономный расход кабеля. Сравнительно недорогая и несложная в использовании среда передачи данных. Простота построения. Сеть легко расширяется.	При значительных объемах трафика уменьшается пропускная способность сети. Трудно локализовать проблемы. Выход из строя кабеля останавливает работу многих пользователей.
Звезда	Легко модифицировать сеть, добавляя новые компьютеры. Централизованный контроль и управление. Выход из строя одного компьютера не влияет на работоспособность сети.	Выход из строя центрального компьютера выводит из строя всю сеть
Кольцо	Все компьютеры имеют равный доступ. Количество пользователей не оказывает значительного влияния на производительность	Выход из строя одного компьютера может вывести из строя всю сеть. Трудно локализовать проблемы. Изменение конфигурации сети требует остановки всей сети.

Под **физической топологией** понимается конфигурация связей, образованных отдельными частями кабеля.

Под **логической топологией** понимается конфигурация информационных потоков между компьютерами в сети.

Во многих случаях физическая и логическая топология сети совпадают. На рис. 12 показано несовпадение физической и логической топологий. Сеть, представленная на рис. 12, а имеет физическую топологию «кольцо».

Сеть, представленная на рис. 12, б имеет физическую топологию «шина», но логическую топологию «кольцо», так как доступ информационного потока каждого компьютера к шине организован по кольцевому принципу.

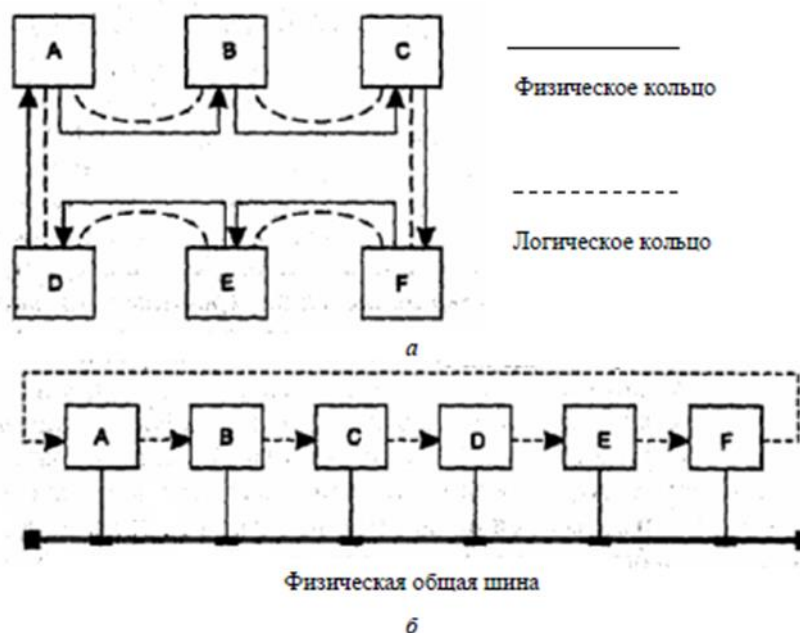


Рисунок 12. Физическая и логическая топология сети

Логическая топология сети определяется методом доступа сетевых устройств к каналу связи. Чаще всего используются три основных метода доступа сетевых устройств к каналу связи: **конкурентный, опроса и маркерный**.

Конкурентный метод доступа состоит в том, что точка передает данные, как только ей это становится **необходимым**.

При этом необходимо, чтобы все остальные сетевые устройства не передавали никакой информации в этом промежутке времени, но система, работающая по этому принципу, не достигает максимальной скорости передачи в канале связи. Происходит это потому, что очень часто несколько точек сети передают пакеты практически одновременно. Результатом этого становится **столкновение пакетов и искажение передаваемой информации, называемое коллизией**. Для предотвращения коллизии были разработаны методы регулирования доступа в конкурентных системах.

Рассмотрим эти методы:

1) **Метод CSMA/CA** (Carrier Sence, Multiple Access/Collision Avoid - анализ несущей, множественный доступ, предотвращение коллизий). Этот метод требует, чтобы станция, желающая передать информацию в канал, предварительно проверила, свободен ли он. Если канал занят, станция обязана выждать, не передавая информации. Если канал свободен, она передает короткое проверочное сообщение, выполняющее функцию детектора коллизии.

2) **Метод CSMA/CD** (Carrier Sence, Multiple Access/Collision Detection - анализ несущей, множественный доступ, обнаружение коллизий), позволяющий быстро обнаружить коллизию. Высокая скорость обнаружения коллизии обеспечивает этому методу наибольшую скорость передачи из всех конкурентных методов доступа.

3) **Метод опроса (поллинга)** требует, чтобы из всех точек сети была выделена одна, называемая первичным контроллером, ведущим устройством или канальным арбитром. Все остальные устройства в сети объявляются вторичными. Арбитр опрашивает в заранее установленном порядке все сетевые устройства на предмет наличия у них информации для передачи. Если потребность в передаче у устройства есть, арбитр предоставляет ему некоторое время для доступа к каналу и обмена информацией. Метод поллинга полностью исключает коллизии, но перегружает канал связи дополнительной информацией и ограничивает вторичные устройства во времени доступа. Наилучшие характеристики этот метод показывает, если все станции через регулярные промежутки времени передают информацию. Сетевая топология типа “звезда” как будто специально создавалась для метода поллинга.

4) **Маркерный метод** (Token passing) доступа очень похож на метод поллинга, но без арбитра. Системы с маркером считают активным (т.е. способным передавать информацию) устройство, владеющее маркером (token), который представляет собой некое специальное информационное сообщение и передается от одного устройства к другому. Таким образом, все устройства по очереди становятся активными. Устройства, не владеющие маркером, считаются пассивными и передавать информацию в канал связи не могут. Правила передачи токена определяют, от кого устройство может получить токен, сколько времени оно может им владеть и кому должно его передать. Преимущества и недостатки маркерного метода, такие же, как и у метода поллинга. Но маркерный метод имеет важное преимущество, заключающееся в отсутствии центрального арбитра. Поэтому отказ любого сетевого устройства не обязательно приведет к отказу всей сети. Дополнительным его недостатком является относительное усложнение каждого устройства.

Тема 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. 13).

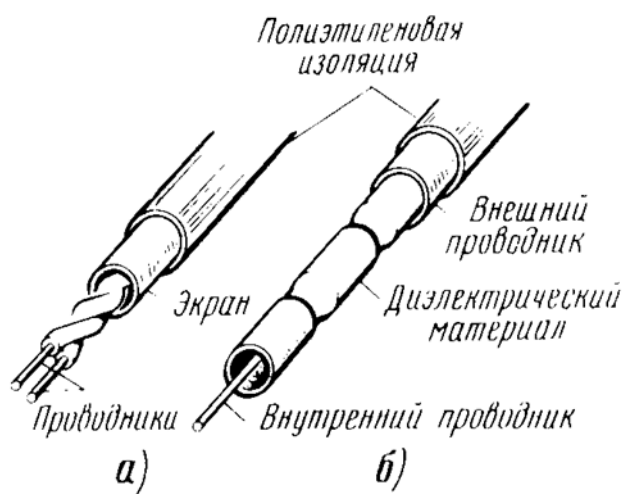


Рисунок 13. Типичный вид симметричного (а) и коаксиального (б) кабеля.

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 α , 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. 14). Оптимальными соотношениями являются (материал внешнего проводника): для меди - 3.6, для алюминия - 3.9, для свинца - 5.2.

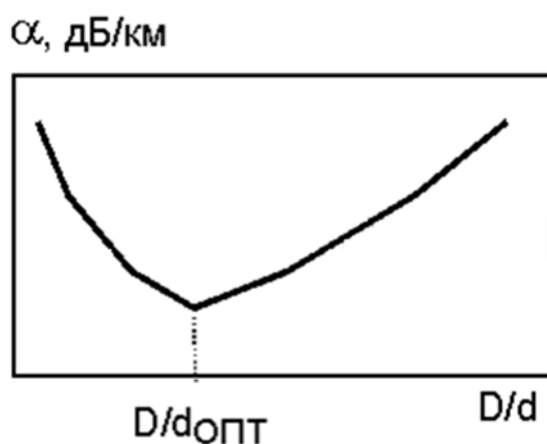


Рисунок 14. Зависимость коэффициента затухания КК от соотношения диаметров проводников

Очень важной характеристикой, фактически определяющей широкополосность системы связи, является **зависимость коэффициента затухания от частоты** (Рис.15.). Если определен граничный коэффициент затухания $\alpha_{\text{ГР}}$ (обычно он определяется возможностями усилителей или регенераторов, то данному коэффициенту соответствует граничная частота пропускания системы $f_{\text{ГР}}$. Полоса пропускания системы не превышает граничной частоты пропускания.

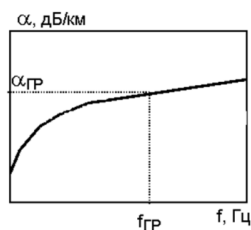


Рисунок 15. Частотная зависимость коэффициента затухания металлического кабеля

Скорость распространения v , км/мс. Частотная зависимость скорости распространения показана на Рис. 16. С ростом частоты скорость распространения увеличивается, приближаясь к скорости света в вакууме $v_c = 300$ км/мс. Данный параметр зависит также от свойств диэлектрика, применяемого в кабеле.

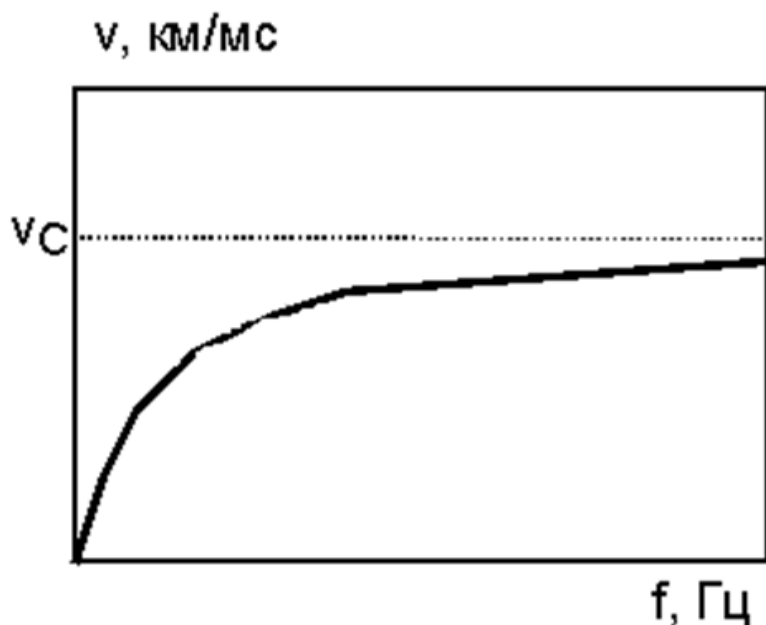


Рисунок 16. Частотная зависимость скорости распространения электромагнитной волны

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

$$Z_B = \frac{1}{2\pi} Z_D \ln \frac{D}{d} \quad (7)$$

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 Таблице 2

Таблица 2

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. 17. 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.

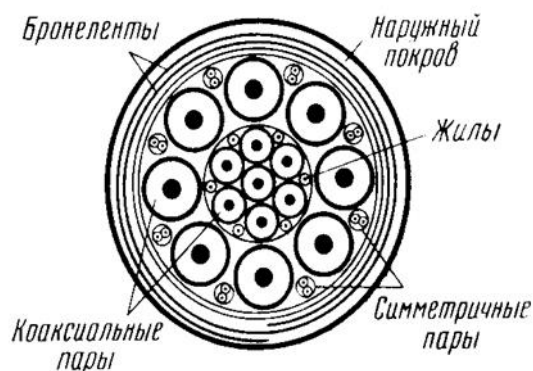


Рисунок 17. Пример конструкции кабеля (кабель КМБ-8/7)

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 энергоемкие 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. 18).

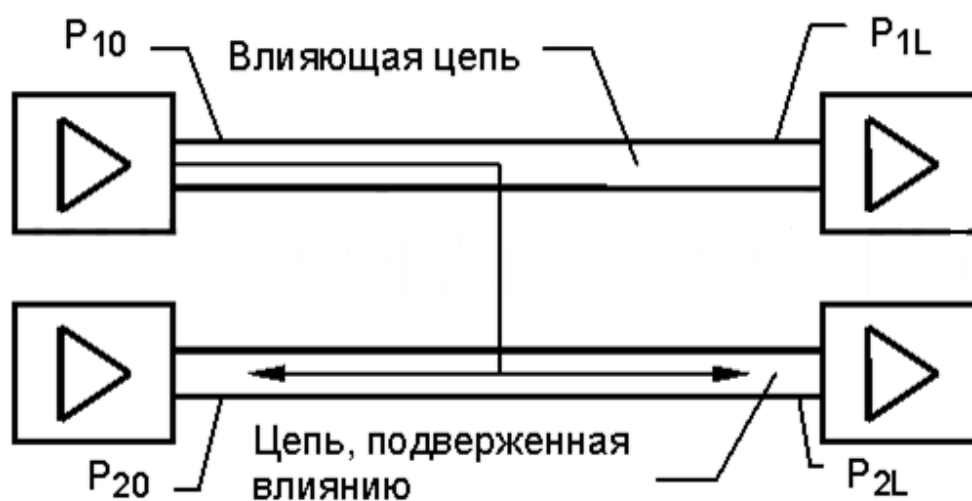


Рисунок 18. Взаимное влияние цепей

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)

$$A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{20}} \right| \quad (8)$$

переходным затуханием на дальнем конце линии (far end cross talk - FEXT).

$$A_L = 10 \lg \left| \frac{P_{1L}}{P_{2L}} \right| \quad (9)$$

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.

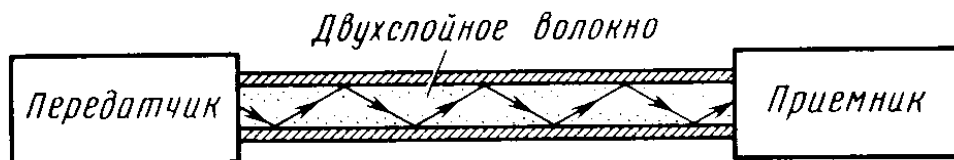


Рисунок 19. Принцип распространения оптического излучения

Угол полного внутреннего отражения, при котором падающее на границу двух сред излучение полностью отражается без проникновения во внешнюю среду, определяется соотношением

$$\vartheta_{\text{КР}} = \arccos(n_2/n_1) \quad (10)$$

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 $\vartheta_{\text{КР}}$.

В зависимости от вида профиля показателя преломления сердцевин различают *ступенчатые и градиентные ОВ*. У ступенчатых ОВ показатель преломления сердцевин постоянен (Рис. 20, а). У градиентных ОВ показатель преломления сердцевин плавно меняется вдоль радиуса от максимального значения на оси до значения показателя преломления оболочки (Рис. 20, б).

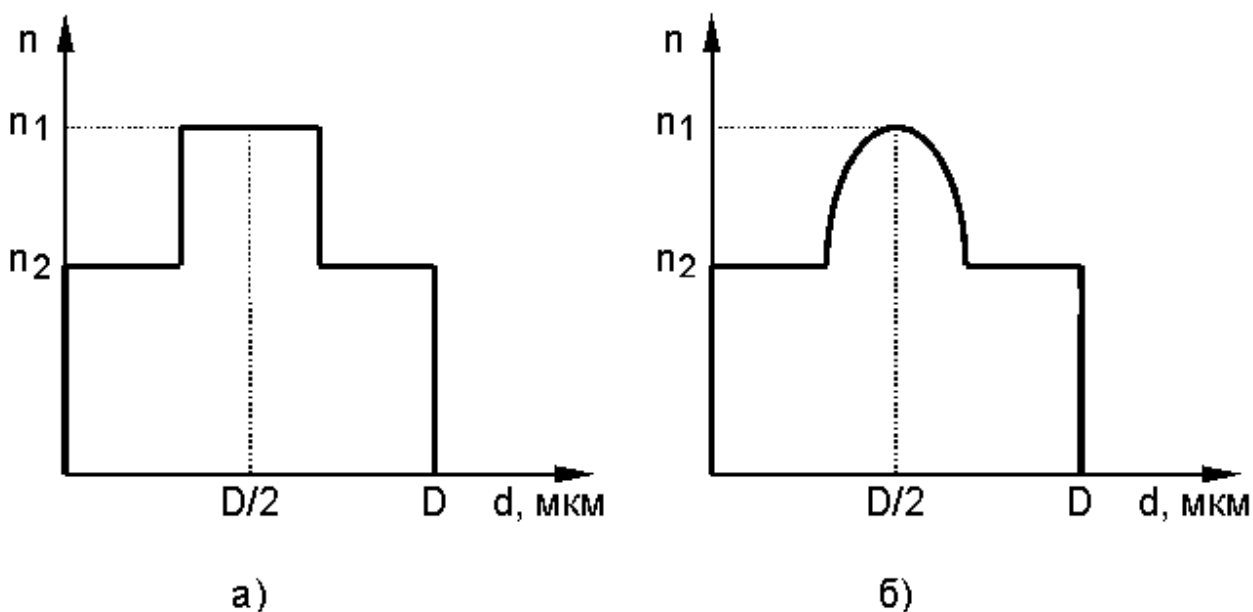


Рисунок 20. Профиль показателя преломления ступенчатого (а) и градиентного (б) ОВ

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. Количество мод зависит от значения нормированной частоты

$$V = \frac{D\pi}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (11)$$

где D - диаметр сердцевин ОВ, λ - 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. 21 приведен пример конструкции оптического кабеля.

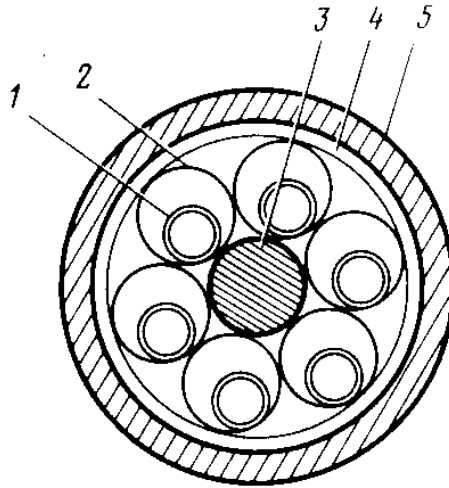


Рисунок 21. Конструкция оптического кабеля: 1 - ОВ, 2 - полиэтиленовая трубка, 3 - силовой элемент, 4 и 5 - соответственно внутренняя и внешняя полиэтиленовые оболочки

Затухание ОВ неоднородно для разных длин волн. Зависимость коэффициента затухания ОВ от рабочей длины волны приведена на Рис. 22. Данная зависимость имеет три минимума, называемые *окнами прозрачности*. Исторически первым было освоено первое окно прозрачности на рабочей длине волны 0.85 мкм.

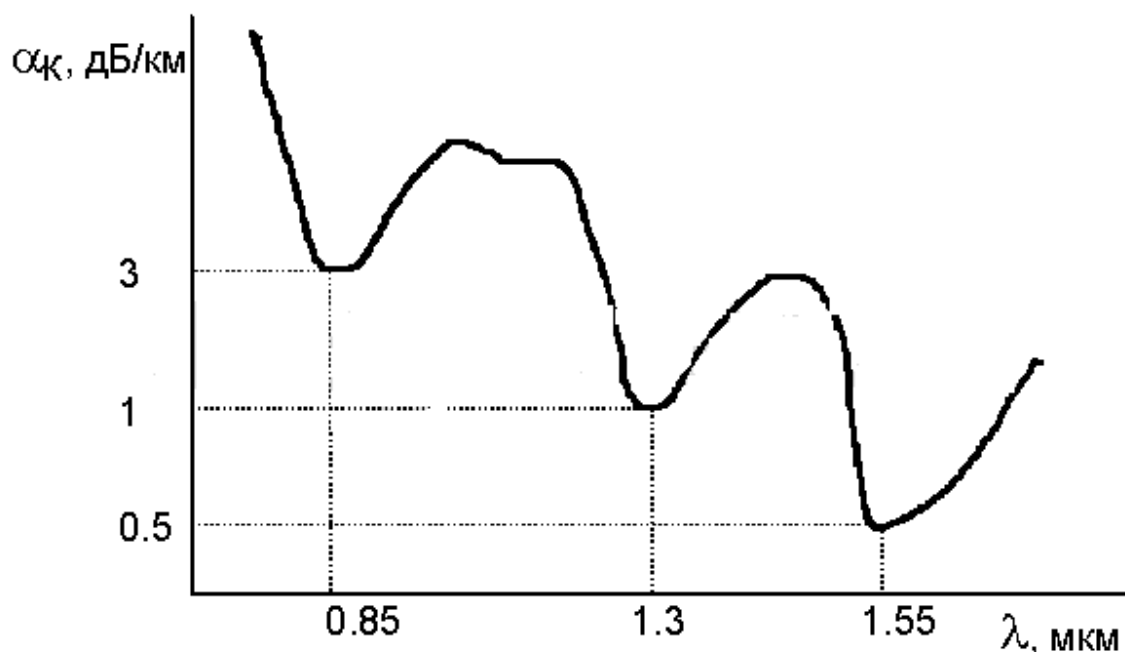


Рисунок 22. Спектральная характеристика коэффициента затухания ОВ

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 Радиолинии

В радиолиниях связи средой распространения электромагнитных волн в подавляющем большинстве случаев (за исключением случая связи между космическими аппаратами) является атмосфера Земли. На Рис. 23 приведено упрощенное строение атмосферы Земли.

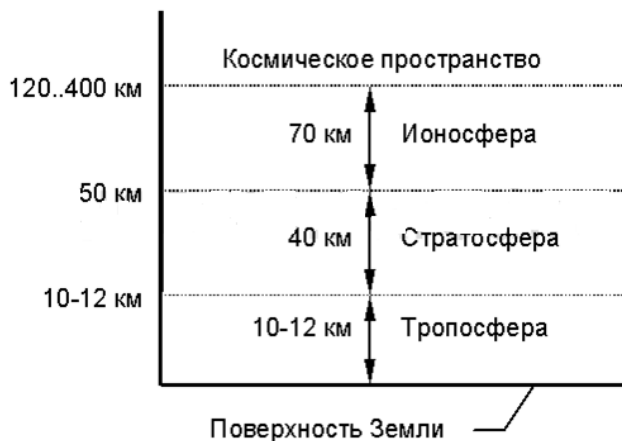


Рисунок 23. Строение атмосферы Земли

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.24. 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 переоприемных станций. Так строятся линии радиорелейных систем передачи.



Рисунок 24. Типичный вид радиолинии

Классификация и способы распространения радиоволн приведены в Табл.3 и Табл. 4. Деление радиоволн на диапазоны установлено Международным регламентом радиосвязи МСЭ-Р.

Таблица 3. Классификация радиоволн

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)

Таблица 4. Способы распространения радиоволн

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

Тема 6. Методы разделения каналов

6.1 Основные понятия и определения

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. 25. приведена структурная схема наиболее распространенных систем многоканальной связи.

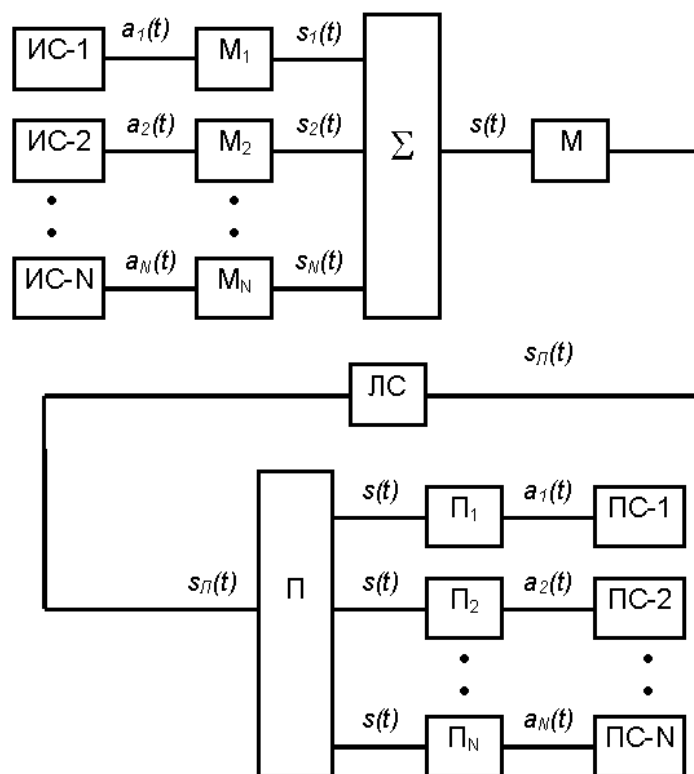


Рисунок 25. Структурная схема систем многоканальной связи

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 Σ образует групповой сигнал $s(t)$. Наконец, в групповом передатчике M сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_L(t)$, 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 $s_L(t)$ с помощью группового приемника Π 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 Π составляют групповой канал связи (тракт передачи), который вместе с аппаратурой объединения и индивидуальными приемниками составляет систему многоканальной связи.

Индивидуальные приемники системы многоканальной связи Π_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 каналных 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.

6.2 Частотное разделение сигналов

Функциональная схема простейшей системы многоканальной связи с разделением каналов по частоте представлена на Рис.26.

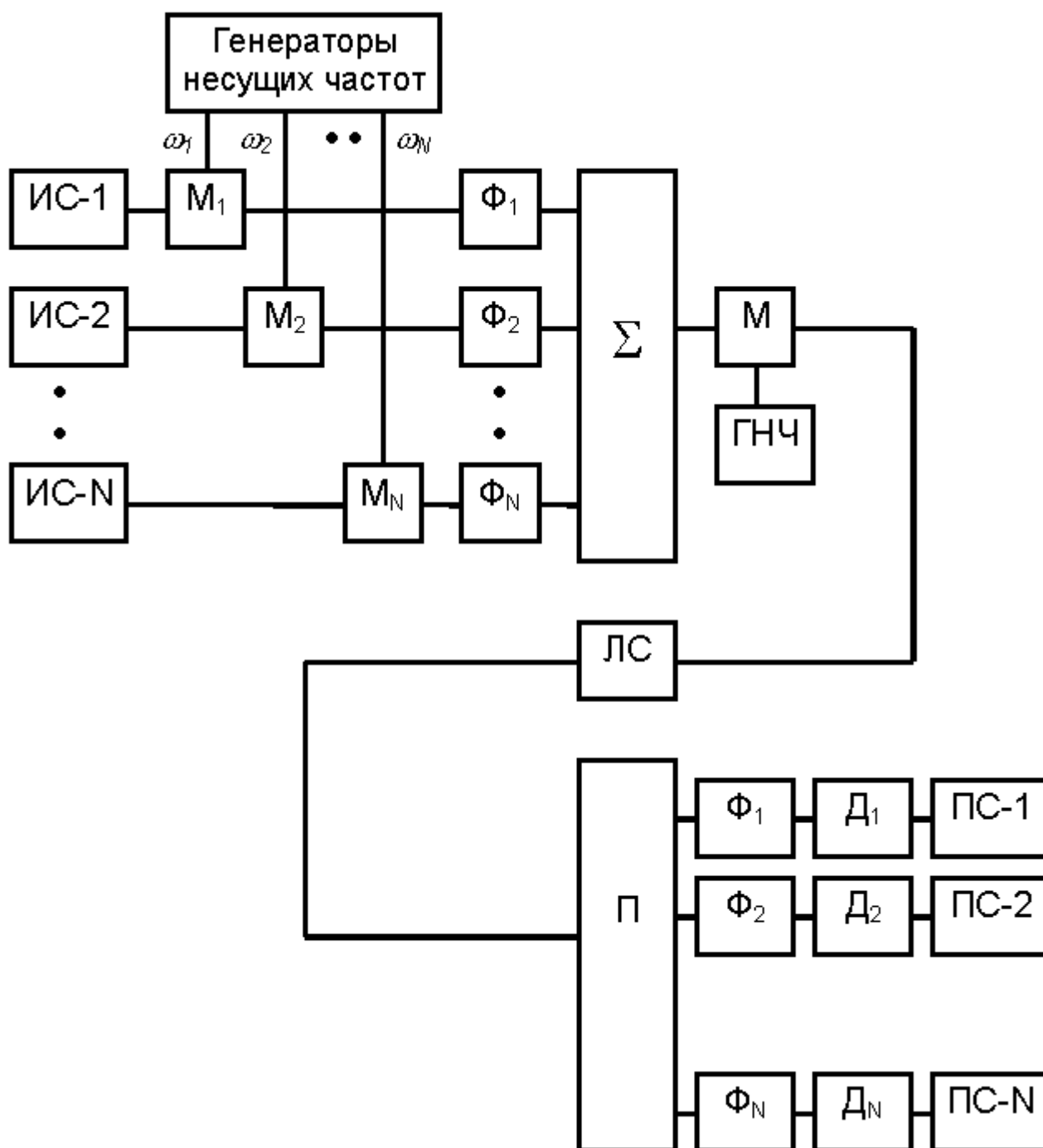


Рисунок 26. Функциональная схема системы многоканальной связи с частотным разделением каналов

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 $G_1(\omega), G_2(\omega), \dots, G_N(\omega)$ модулируют поднесущие частоты ω_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. 27).

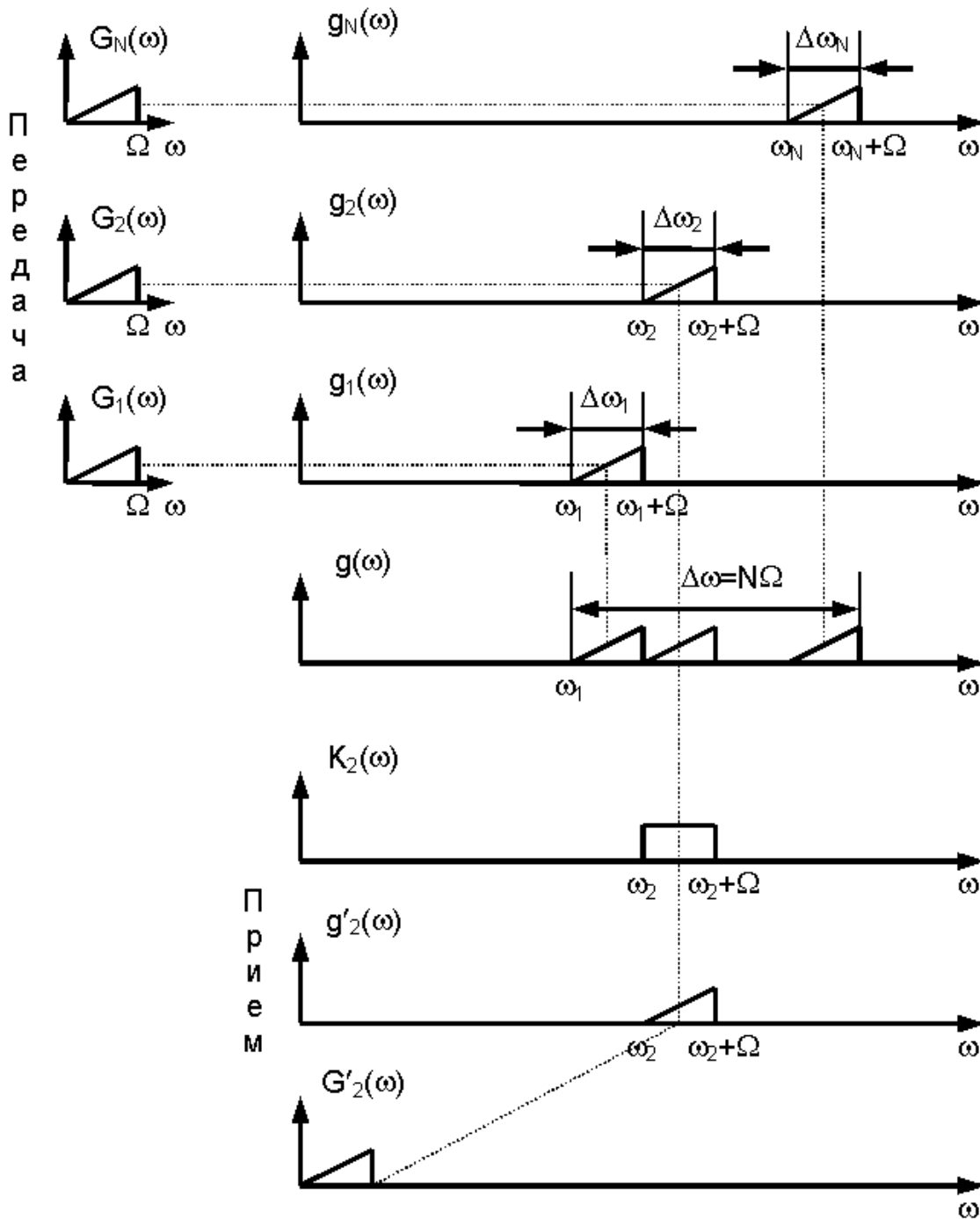


Рисунок 27. Преобразование спектров в системе с частотным разделением каналов

Будем полагать, что спектры индивидуальных сигналов конечны. Тогда можно подобрать поднесущие частоты ω_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 (Σ) и их совокупность $g(\omega)$ поступает на групповой модулятор (М). Здесь спектр $g(\omega)$ с помощью колебания несущей частоты ω_0 переносится в область частот, отведенную для передачи данной группы каналов, т.е. групповой сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_{л}(t)$. 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 Φ_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 $\Delta\omega_{зщ}$ (Рис. 28).

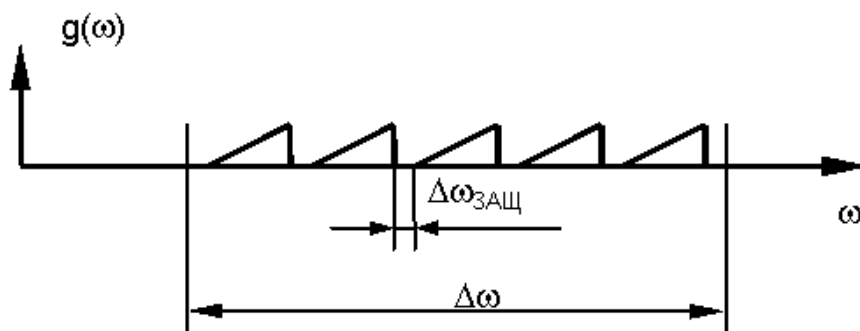


Рисунок 28. Спектр группового сигнала с защитными интервалами

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.

6.3. Временное разделение каналов

Принцип временного разделения каналов (ВРК) состоит в том, что групповой тракт предоставляется поочередно для передачи сигналов каждого канала многоканальной системы (Рис.29).

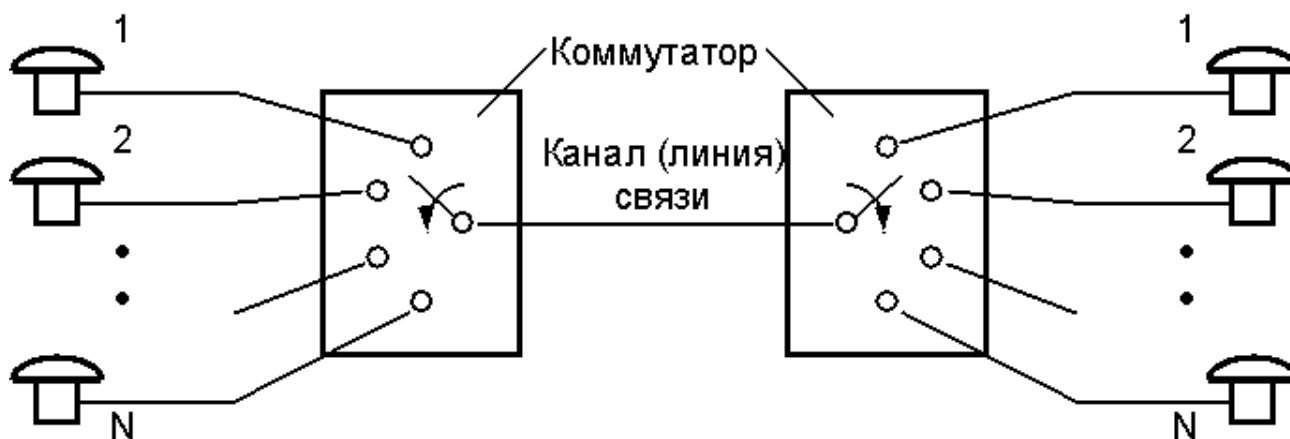


Рисунок 29. Принцип временного разделения каналов

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.30. приведены временные диаграммы, поясняющие принцип ВРК. На Рис.30, 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.

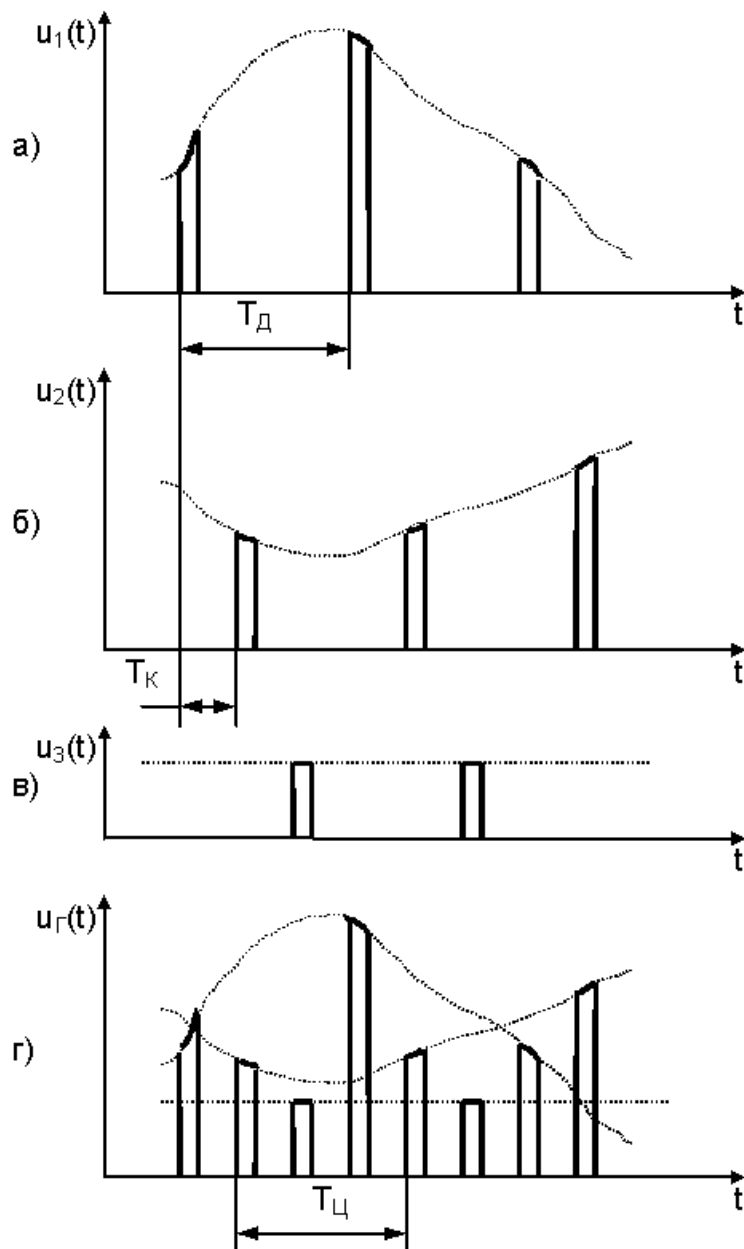


Рисунок 30 Преобразование сигналов при ВРК

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 $T_{Ц}$.

От соотношения $T_{Ц}$ 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 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) $\Delta t_K = T_0/N = 1/(NF) = (1/2F_{\text{общ}})$, где $F_{\text{общ}} = NF$, 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.

6.4 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, c_N для группового сигнала запишем $s(t) = c_1 + c_2 t + \dots + c_N t^{N-1}$

Члены ряда линейно независимы, и, следовательно, ни один из канальных сигналов $c_k t^{k-1}$ 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 B , 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 τ_0 каждый. В этом случае база ШПС численно равна количеству элементов ПСП $B = T/\tau_0 = N$

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 B раз по отношению ко входу.

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

6.5 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* 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 $f(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$ 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. 31). 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.

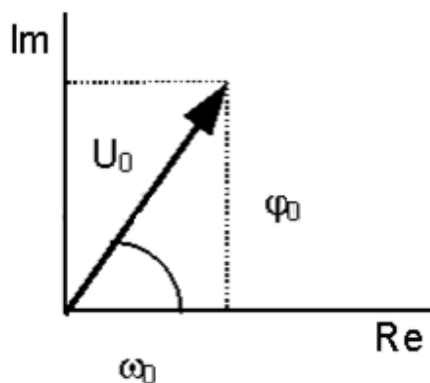


Рисунок 31. Представление сигнала в виде вращающегося вектора

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 $f(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$, то можно образовать три вида модуляции: *амплитудную (АМ), частотную (ЧМ) и фазовую (ФМ)*.

Если переносчиком является периодическая последовательность импульсов $f(t) = U_0 \sum_{-\infty}^{\infty} f_0(f - \pi - f_0)$, 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. 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. 32), поэтому спектр сигнала нужно перенести в полосу пропускания канала.

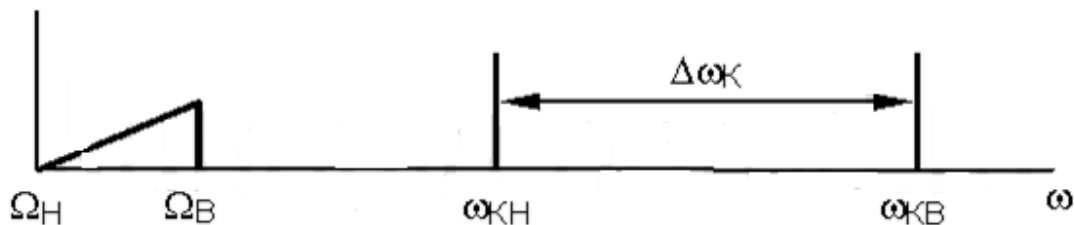


Рисунок 32. Спектр исходного сигнала и полоса пропускания канала связи.

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. 33).

$$S_{AM}(t) = U_H (1 + mS(t)) \cos(\omega_H t)$$

$$; S_{AM}(t) = U_H (1 + mU \cos(\Omega t)) \cos(\omega_H t) = U_H \cos(\omega_H t) + mU_H U \cos(\Omega t) \cos(\omega_H t)$$

$$S_{AM}(t) = U_H \cos(\omega_H t) + 0,5mU_H U \cos((\omega_H - \Omega)t) + 0,5mU_H U \cos((\omega_H + \Omega)t)$$

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

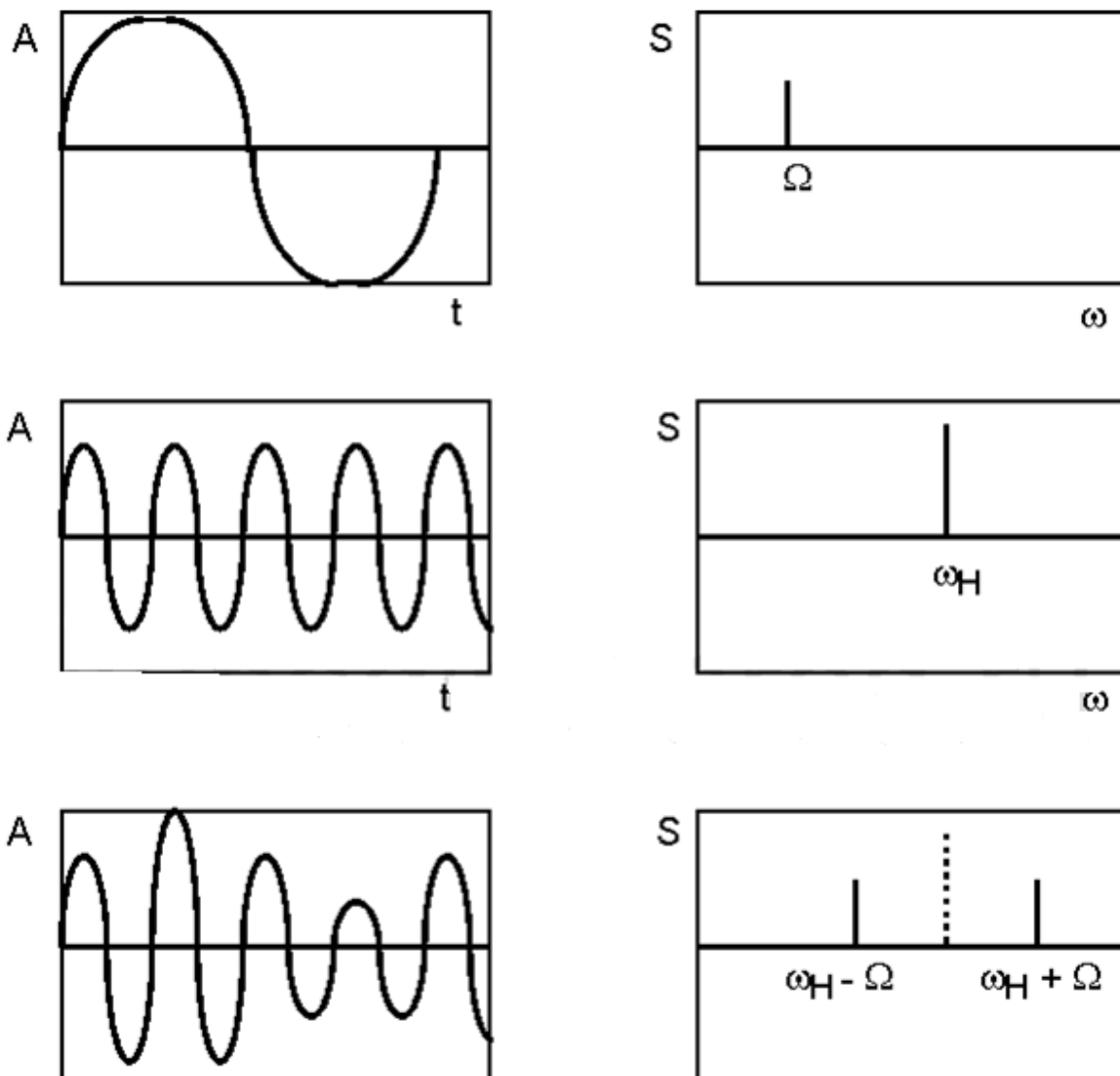


Рисунок 33. Временное и частотное представление сигналов при АМ

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 $S(t) = U \cos(\Omega t)$:

$$S_H(t) \cdot S(t) = 0,5 \cdot U_H \cdot U \cdot (\cos((\omega_H - \Omega)t) + \cos((\omega_H + \Omega)t)) \quad (12)$$

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. 34).

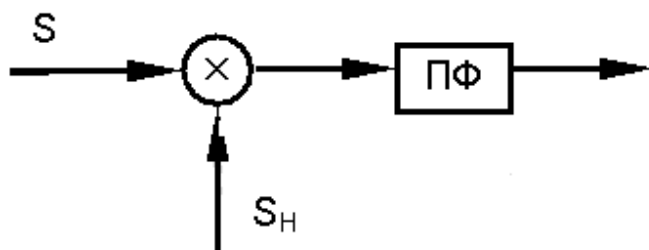


Рисунок 34. Линейный модулятор

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. 35). 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.

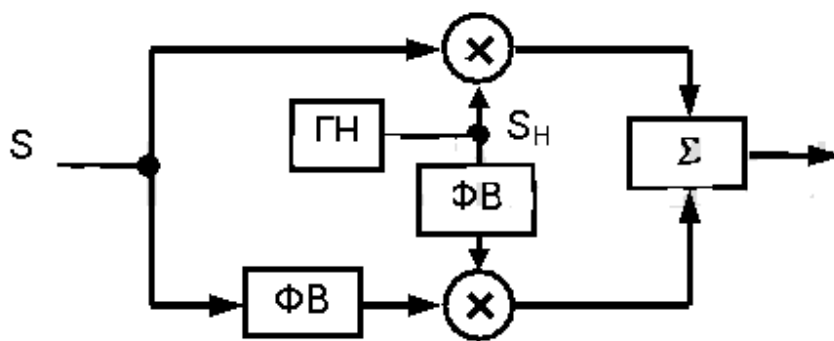


Рисунок 35. Фазоразностный балансный модулятор

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. 36).

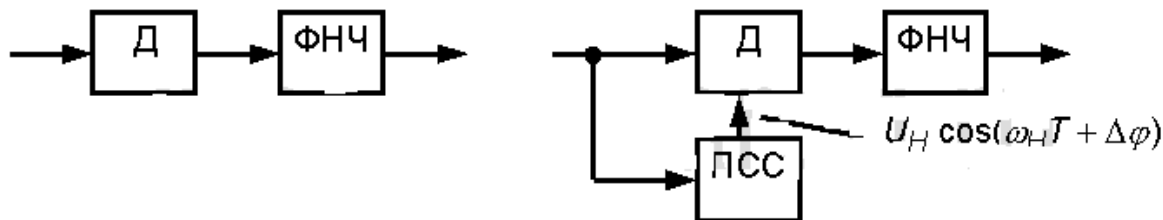


Рисунок 36. Некогерентный и квазикогерентный прием

Опорный сигнал при когерентном приеме должен иметь те же начальные фазы, что и входящие сигналы, т.е. должен быть когерентным с входящими сигналами. Это требование обычно затрудняет реализацию демодулятора и требует введения дополнительных устройств (например, приемник синхросигнала ПСС на Рис. 36), 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. 37) и 8-уровневая ЧМ. При использовании многоуровневой ЧМ исходная двоичная последовательность разбивается на соответствующее число бит (дигит, трибит и т.д.) для определения одной из возможных частот несущей, передаваемой в данный момент.



Рисунок 37. 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. 38).

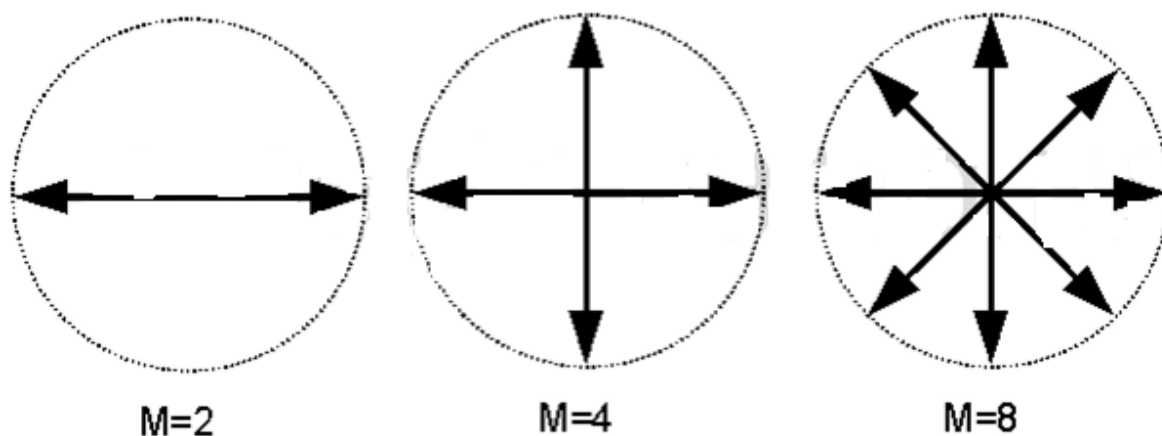


Рисунок 38. Фазовая манипуляция

Сигнал всех типов ФМ может быть получен с помощью балансной схемы (КАМ-модулятора) (Рис. 39), причем обеспечение ОФМ достигается соответствующим изменением битового потока в кодере К.

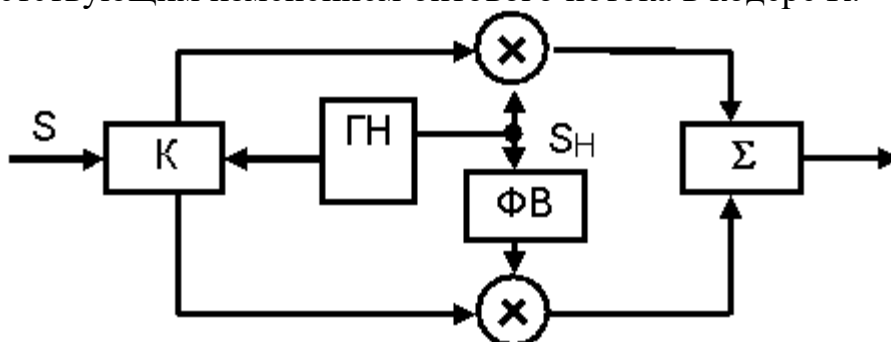


Рисунок 39. КАМ-модулятор

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. 40), КАМ-64 и т.д.), причем КАМ-4 совпадает с ОФМ 4-го уровня.

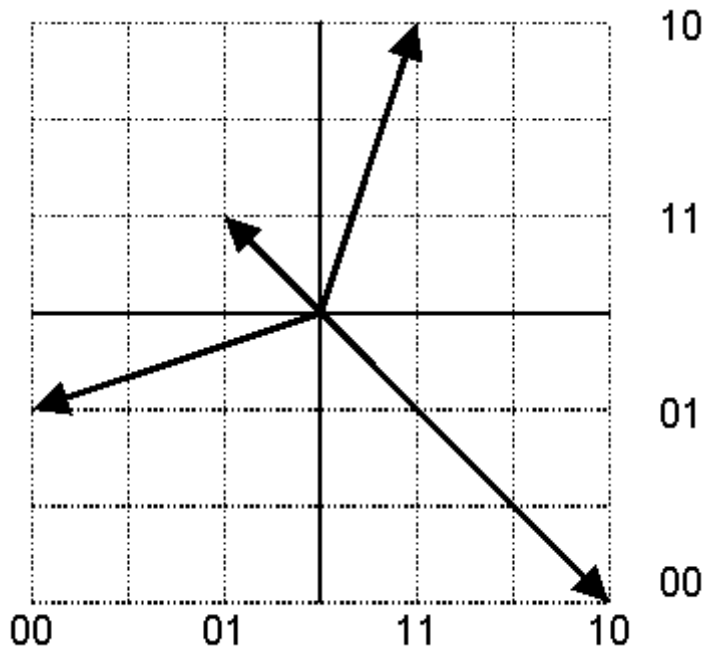


Рисунок 40. КАМ-16 с примерами сигнальных точек квадрибитов 1110, 1000, 0111, 0001

Тема 7. Локальные вычислительные сети.

7.1 Основные сведения

Архитектура локальных сетей ЭВМ базируется на принципе многоуровневого управления процессами, реализуемого иерархической совокупностью протоколов и интерфейсов, и практически полностью соответствует семиуровневой архитектуре эталонной модели взаимодействия открытых систем (модели OSI). Основное отличие архитектур заключается в реализации физического и канального уровней. Эти уровни в наибольшей степени отражают специфику локальных сетей. Физический уровень определяет тип используемого кабеля, электрических разъемов, форму и способ кодирования дискретных сигналов. Канальный уровень обеспечивает передачу информационных кадров (пакетов) между абонентскими системами, входящими в состав одной сети. В архитектуре локальных сетей канальный уровень делится на два подуровня:

- управления логическим каналом передачи данных (Logical Link Control, LLC);
- управления доступом к среде (Media Access Control, MAC).

Подуровень MAC управляет доступом к разделяемому моноканалу. Он преобразует разделяемый физический моноканал в виртуальные каналы типа «точка-точка» между парами абонентских систем.

В современных локальных сетях получили распространение несколько протоколов MAC-уровня, реализующих различные алгоритмы доступа к разделяемой среде. Эти протоколы полностью определяют специфику таких сетевых технологий как Ethernet, Token Ring, FDDI, 100VG-AnyLAN.

Подуровень LLC обеспечивает достоверную передачу информационных кадров между абонентскими системами, а также реализует функции интерфейса с прилегающим к нему сетевым уровнем. Для подуровня LLC также существует несколько вариантов протоколов, отличающихся наличием или отсутствием на этом подуровне процедур восстановления кадров в случае их потери или искажения, то есть отличающихся качеством транспортных услуг этого уровня. Протоколы подуровней MAC и LLC взаимнонезависимы - каждый протокол MAC-уровня может применяться с любым типом протокола LLC-уровня и наоборот.

Проектирование и построение локальных сетей осуществляется на основе стандартов, разработанных рабочей группой 802 IEEE (Института инженеров по электротехнике и электронике США). Стандарты, получившие наибольшее распространение, приведены в табл. 5. Для каждого из этих стандартов определены спецификации физического уровня, определяющие среду передачи данных (коаксиальный кабель, витая пара или оптоволоконный кабель), ее параметры, а также методы кодирования информации для передачи по данной среде.

Таблица 5. Стандарты IEEE 802.x

<i>Стандарт</i>	<i>Содержание стандарта</i>
802.1	Основные понятия и определения, общие характеристики и требования к локальным сетям.
802.2	Определяет подуровень управления логическим каналом LLC.
802.3	Описывает коллективный доступ с опознаванием несущей и обнаружением конфликтов (Carrier sense multiple access with collision detection - CSMA/CD). прототипом которого является метод доступа стандарта Ethernet:
802.4	Определяет метод доступа к шине с передачей маркера (Token bus network), прототип - ArcNet;
802.5	Описывает метод доступа к кольцу с передачей маркера (Token ring network), прототип - Token Ring.
802.11 802.16	Определяют принципы построения и функционирования беспроводных локальных сетей.

Сетевая технология - это совокупность согласованных между собой протоколов и реализующих их технических и программных средств, необходимых и достаточных для построения и нормального функционирования локальной сети.

В настоящее время для построения локальных сетей наибольшее распространение получили сетевые технологии Ethernet, Token Ring, FDDI, использующие для передачи данных кабельные каналы связи с различной топологией, также активно развиваются и внедряются технологии беспроводных локальных сетей, передача данных в которых между абонентскими системами осуществляется по каналам радиочастотной связи.

7.2 Технология Ethernet

Ethernet - это самый распространенный на сегодняшний день стандарт локальных сетей, использующий метод доступа к среде CSMA/CD.

Главным достоинством сетей Ethernet, благодаря которому они стали такими популярными, является их экономичность. Для построения сети достаточно иметь по одному сетевому адаптеру для каждого компьютера плюс один физический сегмент коаксиального кабеля нужной длины (сегмент - часть сетевого кабеля, ограниченная мостами, маршрутизаторами, повторителями или терминаторами). Другие базовые технологии, например Token Ring, для

создания даже небольшой сети требуют наличия дополнительного устройства - концентратора.

Кроме того, в сетях Ethernet реализованы достаточно простые алгоритмы доступа к среде, адресации и передачи данных. Простота логики работы сети ведет к упрощению и, соответственно, удешевлению сетевых адаптеров и их драйверов. По той же причине адаптеры сети Ethernet обладают высокой надежностью.

И, наконец, еще одним замечательным свойством сетей Ethernet является их хорошая расширяемость, то есть легкость подключения новых узлов. Основные характеристики технологии Ethernet приведены в табл. 6.

Другие базовые сетевые технологии - Token Ring, FDDI, 100VGAny-LAN, хотя и обладают многими индивидуальными чертами, в то же время имеют много общих свойств с Ethernet. В первую очередь - это применение регулярных фиксированных топологий (иерархическая звезда и кольцо), а также разделяемых сред передачи данных. Существенные отличия одной технологии от другой связаны с особенностями используемого метода доступа к разделяемой среде. Так, отличия технологии Ethernet от технологии Token Ring во многом определяются спецификой заложенных в них методов разделения среды - случайного алгоритма доступа в Ethernet и метода доступа путем передачи маркера в Token Ring.

Что в действительности обозначают сокращения 10Base2, 10BaseT и т.д.? Это - имена для различных физических типов Ethernet. "10" обозначает скорость передачи сигнала 10MHz, "Base" означает "Baseband", "Broad" - broadband. Первоначально последняя секция предназначалась для отображения максимальной длины кабельного сегментов без репитеров в сотнях метров. Эта договоренность была изменена с введением 10BaseT, где T - обозначает "twisted pair" - витая пара и 10BaseF, где F обозначает "fiber" - волокно.

Таблица 6. Основные характеристики разновидностей технологии Ethernet

Ethernet	Fast Ethernet	Gigabit Ethernet
<p>10Base2 – Сетевая среда с использованием тонкого коаксиального кабеля, однополосный режим, скорость передачи данных 10 Мбит/с, топология - шина</p>	<p>100BaseTX- Сетевая среда с использованием неэкранированной витой пары 5 кат, скорость передачи данных 100 Мбит/с, топология - звезда</p>	<p>1000Base-SX 850mn, лазерный источник, многомодовое оптоволокно [не более 300 м (волокно 62,5 мкм) и 550 м (волокно 50 мкм)]</p>
<p>10Base5 – Сетевая среда с использованием толстого коаксиального кабеля, однополосный режим, скорость передачи данных 10 Мбит/с, топология - шина</p>		
<p>10BaseT- Сетевая среда с использованием неэкранированной витой пары 3, 4, 5 кат, однополосный режим, скорость передачи данных 10 Мбит/с, топология - звезда</p>	<p>100BaseFX- Сетевая среда с использованием волоконно-оптического кабеля, скорость передачи данных 100 Мбит/с, топология - звезда</p>	<p>1000Base-LX 1300 mn, лазерный источник и одномодовое оптоволокно (не более 3000м)</p>
<p>10BaseFL - Сетевая среда с использованием волоконнооптического кабеля однополосный режим, скорость передачи данных 10 Мбит/с, топология - звезда</p>		<p>1000BaseX двухпроводной экранированный кабель (STP), экранированная витая пара не более 25 м</p>

Рассмотрим эволюцию основных технологий Ethernet.

На рис. 41 изображена часть сети, построенной по технологии 10Base5 (Толстый Ethernet). Основными характеристиками технологии 10Base5 являются:

- Используемая топология - общая шина.
- Используемый провод - коаксиальный кабель толстый (так называемый "желтый") с волновым сопротивлением 50 Ом.
- Максимальная длина сегмента (отрезок сети без повторителя, ограниченный терминаторами) 500 м.
- Минимальное расстояние между точками подключения 2,5 м.
- Максимальное количество точек подключения к сегменту 100.
- Максимальное количество сегментов сети 5.
- Устройства подключаются к сети посредством устанавливаемого на кабель трансивера (transceiver - MAU(Media Access Unit)).
- Максимальная длина трансиверного кабеля (длина кабеля между трансивером и устройством) 25 м.
- При подключении используется разъем AUI 15 pin.

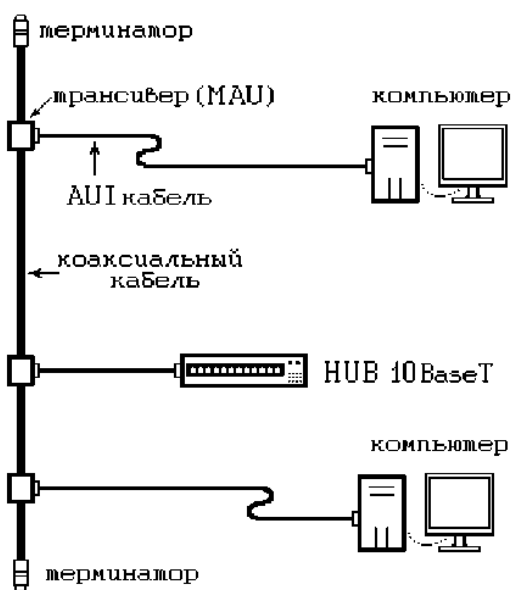


Рисунок 41. Часть сети, построенной по технологии 10Base5 (Толстый Ethernet)

На рис. 42 изображена часть сети, построенной по технологии 10Base2 или тонкий Ethernet. Основными характеристиками технологии 10Base2 являются:

- Основная используемая топология - общая шина.
- Используемый провод - коаксиальный кабель 50 Ом, тонкий.
- Максимальная длина сегмента - 185 м.
- Минимальное расстояние между точками подключения - 0,5 м.
- Максимальное количество точек подключения к сегменту - 30.

- Максимальное количество сегментов в сети - 5.

На рис. 43 изображен монтаж и прокладка сети 10Base2 (Тонкий Ethernet).

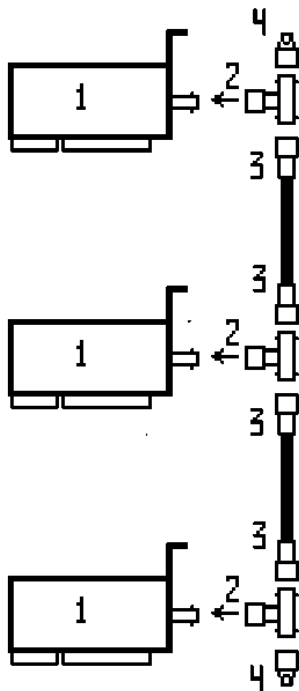


Рисунок 42. Часть сети, построенной по технологии 10Base2 или тонкий Ethernet.

- 1 - сетевая карта, установленная на компьютере,
- 2 - Т-коннектор,
- 3 - разъемы на концах кабеля,
- 2 – терминатор

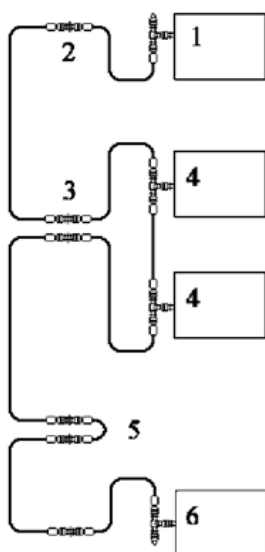


Рисунок 43. Монтаж и прокладка сети

10Base2.

1. Крайний компьютер или другое сетевое устройство сегмента.
2. Прямой переход типа "Bulk-head connector".
- 2-3. Проброс кабеля между точками подключения.
3. Два прямых перехода.
4. Компьютер или другое сетевое устройство.
5. Перемычка из коаксиального кабеля вместо компьютера.
6. Крайний компьютер или другое устройство сегмента

На рис. 44. показан монтаж и прокладка сетей на основе витой пары. Максимальная длина кабеля между розетками или между розеткой и patch панелью - 90 м. Это правило разработано исходя из ограничения максимального расстояния в 100 м между DTE (компьютер) и хабом. Причем оставшиеся 10 м отводятся на провод (patch cord) между розеткой и компьютером, а также розеткой (patch панелью) и хабом. Для сетей категории 5 может быть не более 3-х отрезков кабеля между двумя устройствами (как на рис. 45).

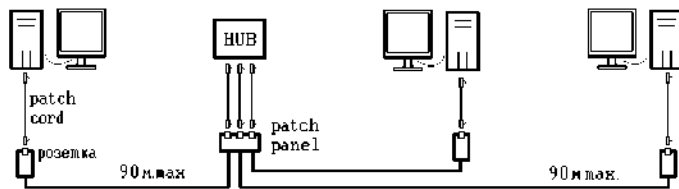


Рисунок 44. Монтаж и прокладка сетей на основе витой пары

На рис. 45 показан монтаж и прокладка сетей на основе стандарта 10BaseF (волоконная оптика). В этом случае используется топология звезда, максимальная длина сегмента 2 км.

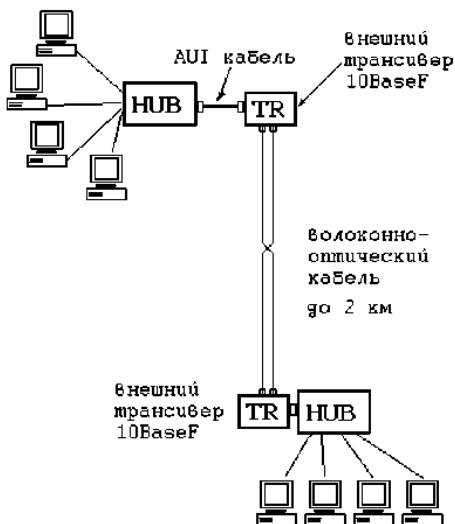


Рисунок 45. Монтаж и прокладка сетей на основе стандарта 10BaseF

В процессе развития Ethernet и стандарта IEEE 802.3 было предложено 4 варианта формата кадра. В 1980 г. консорциум трёх фирм DEC, Intel, Xerox представил на рассмотрение комитета 802.3 свою версию стандарта Ethernet (тип кадра Ethernet DIX), но комитет принял стандарт, отличающийся деталями (в том числе и форматом кадра) от предложения DIX (тип кадра 802.3/LLC). Novell, являющаяся в то время лидером сетевой индустрии в области персональных компьютеров, предложила свой формат кадра (Raw 802.3). Четвёртый вариант был предложен комитетом 802.2 для ликвидации недостатков формата кадра 802.3/LLC и приведения всех форматов кадров к общему виду (тип кадра Ethernet SNAP).

- 8 байт -
- 6 байт —4*— 6 байт -
- от 64 до 1518 байт - н
- 14 байта I

Преамбула	Ош СЛ	DA	SA	Зависит от типа кадра	Данные	KCS

Заголовок кадра

Тело кадра

Рисунок 46. Формат кадра Ethernet

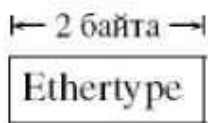
Каждый кадр начинается с преамбулы (Preamble) (длина 7 байт), заполненной шаблоном 0b10101010 (для синхронизации источника и получателя). После преамбулы идёт байт начального ограничителя кадра (Start of Frame Delimiter, SFD), содержащий последовательность 0b10101011 и указывающий на начало собственно кадра. Далее идут поля адрес получателя (Destination Address, DA) и адрес отправителя (Source Address, SA). В Ethernet используют 48-битные адреса MAC-уровня IEEE. Следующее поле имеет разный смысл и разную длину в зависимости от типа кадра:

- Тип кадра Ethernet DIX.

Тип кадра Ethernet DIX - изначальный тип кадра стандарта Ethernet. Этот тип кадра носит также названия Ethertype, Ethernet II (в терминологии NetWare). После поля адреса источника этот тип кадра содержит 16-битное поле типа (Ethertype), идентифицирующее инкапсулированный в кадре протокол верхнего уровня (рис. 47,а).

- Тип кадра Raw 802.3. Этот тип кадра предложен компанией Novell для своей системы NetWare. Он также носит названия Novell 802.3, Ethernet 802.3 (в терминологии Net-Ware). За адресом источника он содержит 16-битное поле длины (Length, L), определяющее число байт, следующее за полем длины (без учёта поля контрольной суммы) (рис. 47, б). В этот тип кадра всегда

вкладывается пакет протокола IPX. Первые два байта заголовка протокола IPX содержат контрольную сумму датаграммы IPX. Однако по умолчанию это поле не используется и выставлено в 0xFFFF.



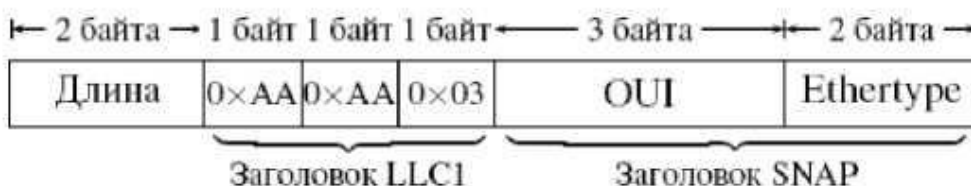
(а) Тип кадра Ethernet DIX



(б) Тип кадра Raw 802.3



(в) Тип кадра 802.3/LLC



(г) Тип кадра Ethernet SNAP

Рисунок 47. Типы кадров Ethernet (только поле, зависящее от типа кадра)

- Тип кадра 802.3/LLC. Поскольку группа стандартов IEEE 802 разделяет канальный уровень на подуровни MAC и LLC, то в кадр MAC-подуровня вкладывается кадр LLC-подуровня. За полем адреса источника идёт 16-битное поле длины (Length, L), определяющее число байт, следующее за полем длины (без учёта поля контрольной суммы). За ним следует заголовок LLC (рис. 47, в). Он состоит из 8-разрядных полей точки доступа к услуге источника (Source Service Access Point, SSAP) и точки доступа к услуге получателя (Destination Service Access Point, DSAP), а также поля управления, имеющего длину 8 или 16 бит, в зависимости от типа протокола LLC. Поля SSAP и DSAP размером по 6 бит предназначены для описания типа протокола следующего уровня. Но при такой разрядности можно указать не более 64 различных протоколов. Таким образом, недостаточный размер полей SAP создаёт трудности при применении этого типа кадра (например, нет типа SAP для протокола ARP).

- Тип кадра Ethernet SNAP. Преждевременная стандартизация протокола LLC привела к значительным трудностям в применении типа кадра 802.3/LLC. Для решения этой проблемы комитетом 802.2 был предложен тип кадра Ethernet SNAP (SubNetwork

Access Protocol, протокол доступа к подсети). Кадр Ethernet SNAP является расширением кадра 802.3/LLC за счёт введения дополнительного заголовка протокола SNAP (рис. 47, г). Заголовок SNAP состоит из 3-байтного поля уникального идентификатора организации (Organizationally Unique Identifier, OUI) и 2-байтного поля типа (Type, Ethertype). Тип идентифицирует протокол верхнего уровня, а поле OUI определяет идентификатор организации, контролирующей назначение кодов типа протокола.

Коды протоколов для стандартов IEEE 802 контролирует IEEE, имеющая код OUI, равный 0x000000. Для этого кода OUI поле типа для Ethernet SNAP совпадает со значением типа для Ethernet DIX.

Протокол SNAP вкладывается в протокол LLC1. Код SAP для него - 0xAA. Поле управления устанавливается в 0x03, что соответствует использованию нумерованных кадров. Далее идёт поле данных (Data). Если длина поля данных недостаточна для получения минимальной длины кадра, то вводится дополнительное поле заполнения (Padding), призванное обеспечить минимальную длину кадра. В конце кадра идёт 32-битное поле контрольной суммы (Frame Check Sequence, FCS). Контрольная сумма вычисляется по алгоритму CRC-32.

Размер кадра Ethernet от 64 до 1518 байт (без учёта преамбулы, но с учётом поля контрольной суммы). Алгоритм автоматического распознавания разных типов кадров Ethernet достаточно прост. Поле, следующее за полем адреса источника, имеет длину 2 байта и может быть либо полем Ethertype, либо полем длины данных. Максимальная длина поля данных равна 1500 байт (0x05DC). Значение поля Ethertype всегда больше, чем 0x05DC.

Следовательно, если значение поля больше, чем 0x05DC, то мы имеем кадр Ethernet DIX. В противном случае - поле длины. Если следующие за полем длины два байта выставлены в 0xFFFF, то это кадр Raw 802.3. В противном случае мы имеем либо кадр типа 802.3/LLC, либо кадр типа Ethernet SNAP, которые можно различить по значению полей SSAP и DSAP. Если они выставлены в 0xAA, то имеем кадр Ethernet SNAP, иначе - кадр типа 802.3/LLC.

В табл. 6. приведены данные об использовании разных кадров Ethernet протоколами более высоких уровней.

В сетях Ethernet используется метод доступа к среде передачи данных, называемый методом коллективного доступа с опознаванием несущей и обнаружением коллизий (carrier-sense-multiply-access with collision detection, CSMA/CD), разработанный корпорацией Хегох. Этот метод используется исключительно в сетях с общей шиной (к которым относятся и радиосети, породившие этот метод). Все компьютеры такой сети имеют непосредственный доступ к общей шине, поэтому она может быть использована для передачи данных между любыми двумя узлами сети. Простота схемы подключения - это

один из факторов, определивших успех стандарта Ethernet. Говорят, что кабель, к которому подключены все станции, работает в режиме коллективного доступа (multiply-access, MA).

Таблица 6. Использование разных типов кадров Ethernet протоколами высших уровней

Тип кадра	Протоколы
Ethernet DIX Raw 802.3 802.3/LLC Ethernet SNAP	IPX. IP. AppleTalk Phase I IPX IPX. NetBEUI IPX. IP. AppleTalk Phase II

Данный метод основывается на предположении, что каждое локальное устройство может узнать состояние общего широковещательного канала связи перед попыткой его использования. Такой метод называется множественным доступом к среде с обнаружением конфликтов и детектированием несущей (carrier-sense multiple access with collision detection - CSMA/CD) В данном случае “несущая” означает любую электрическую активность в кабеле.

При описанном подходе возможна ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общему кабелю. Для уменьшения вероятности этой ситуации непосредственно перед отправкой кадра передающая станция слушает кабель (то есть принимает и анализирует возникающие на нем электрические сигналы), чтобы обнаружить, не передается ли уже по кабелю кадр данных от другой станции. Если опознается несущая (carrier-sense, CS), то станция откладывает передачу своего кадра до окончания чужой передачи, и только потом пытается вновь его передать. Но даже при таком алгоритме две станции одновременно могут решить, что по шине в данный момент времени нет передачи, и начать одновременно передавать свои кадры. Говорят, что при этом происходит коллизия, так как содержимое обоих кадров сталкивается на общем кабеле, что приводит к искажению информации.

Чтобы корректно обработать коллизию, все станции одновременно наблюдают за возникающими на кабеле сигналами. Если передаваемые и наблюдаемые сигналы отличаются, то фиксируется обнаружение коллизии (collision detection, CD). Для увеличения вероятности немедленного обнаружения коллизии всеми станциями сети, ситуация коллизии усиливается посылкой в сеть станциями, начавшими передачу своих кадров, специальной последовательности битов, называемой jam-последовательностью.

После обнаружения коллизии передающая станция обязана прекратить передачу и ожидать в течение короткого случайного интервала времени, а затем может снова сделать попытку передачи кадра.

Из описания метода доступа видно, что он носит вероятностный характер, и вероятность успешного получения в свое распоряжение общей

среды зависит от загруженности сети, то есть от интенсивности возникновения в станциях потребности передачи кадров. При разработке этого метода предполагалось, что скорость передачи данных в 10 мбит/с очень высока по сравнению с потребностями компьютеров во взаимном обмене данными, поэтому загрузка сети будет всегда небольшой. Это предположение остается часто справедливым и по сей день, однако уже появились приложения, работающие в реальном масштабе времени с мультимедийной информацией, для которых требуются гораздо более высокие скорости передачи данных. Поэтому наряду с классическим Ethernet'ом растет потребность и в новых высокоскоростных технологиях.

В алгоритме множественного доступа Ethernet определены следующие действия или отклики пользователя.

1. Отложить. Пользователь не должен передавать данные при наличии несущей или в течение минимального времени, разделяющего пакеты.

2. Передать. Если не используется предыдущее действие, пользователь может передавать данные до окончания времени передачи пакета или до возникновения конфликта.

3. Прервать. При возникновении конфликта пользователь должен прекратить передачу данных и оповестить других пользователей, участвующих в конфликте.

4. Передать повторно. Пользователь должен предпринять попытку повторной передачи после паузы случайной протяженности.

5. Откат. Пауза перед n -й попыткой повторной передачи - это равномерно распределенное случайное число от 0 до $2^n - 1$, где $(0 < n < 10)$. При $n > 10$ интервал остается в пределах от 0 до 1023. Единицей измерения времени для интервала задержки перед повторной передачей является 512 бит (51,2 мкс).

При использовании манчестерской схемы РСМ из спецификации Ethernet каждый однобитовый элемент или позиция двоичного разряда содержит переход. Двоичная единица описывается переходом с низкого уровня на высокий, двоичный нуль - переходом с высокого уровня на низкий. Следовательно, наличие переходов служит показателем наличия несущей. Если в течение определенного промежутка времени (от 0,75 до 1,25 периода передачи бита) переход не наблюдается - несущая потеряна, что свидетельствует об окончании пакета.

Метод CSMA/CD определяет основные временные и логические соотношения, гарантирующие корректную работу всех станций в сети:

- Между двумя последовательно передаваемыми по общей шине кадрами информации должна выдерживаться пауза в 9.6 мкс; эта пауза нужна для приведения в исходное состояние сетевых адаптеров узлов, а также для предотвращения монопольного захвата среды передачи данных одной станцией.

- При обнаружении коллизии (условия ее обнаружения зависят от применяемой физической среды) станция выдает в среду

специальную 32-битную последовательность (jam-последовательность), усиливающую явление коллизии для более надежного распознавания ее всеми узлами сети.

- После обнаружения коллизии каждый узел, который передавал кадр и столкнулся с коллизией, после некоторой задержки пытается повторно передать свой кадр. Узел делает максимально 16 попыток передачи этого кадра информации, после чего отказывается от его передачи. Величина задержки выбирается как равномерно распределенное случайное число из интервала, длина которого экспоненциально увеличивается с каждой попыткой. Такой алгоритм выбора величины задержки снижает вероятность коллизий и уменьшает интенсивность выдачи кадров в сеть при ее высокой загрузке.

Все параметры протокола Ethernet подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе узлов сети коллизии всегда четко распознавались. Именно для этого минимальная длина поля данных кадра должна быть не менее 46 байт (что вместе со служебными полями дает минимальную длину кадра в 72 байта или 576 бит). Длина кабельной системы выбирается таким образом, чтобы за время передачи кадра минимальной длины сигнал коллизии успел бы распространиться до самого дальнего узла сети. Поэтому для скорости передачи данных 10 Мб/с, используемой в стандартах Ethernet, максимальное расстояние между двумя любыми узлами сети не должно превышать 2500 м.

С увеличением скорости передачи кадров, что имеет место в новых стандартах, базирующихся на том же методе доступа CSMA/CD, например, Fast Ethernet, максимальная длина сети уменьшается пропорционально увеличению скорости передачи. В стандарте Fast Ethernet она составляет 210 м, а в гигабитном Ethernet ограничена 25 м.

Независимо от реализации физической среды, все сети Ethernet должны удовлетворять двум ограничениям, связанным с методом доступа:

- максимальное расстояние между двумя любыми узлами не должно превышать 2500 м,
- в сети не должно быть более 1024 узлов.

Количество обрабатываемых пакетов Ethernet в секунду часто используется при указании внутренней производительности мостов и маршрутизаторов, вносящих дополнительные задержки при обмене между узлами. Поэтому интересно знать чистую максимальную производительность сегмента Ethernet в идеальном случае, когда на кабеле нет коллизий и нет дополнительных задержек, вносимых мостами и маршрутизаторами.

Так как размер пакета минимальной длины вместе с преамбулой составляет $64+8 = 72$ байта или 576 битов, то на его передачу затрачивается 57.6 мкс. Прибавив межкадровый интервал в 9.6 мкс, получаем, что период следования минимальных пакетов равен 67.2 мкс. Это соответствует максимально возможной пропускной способности сегмента Ethernet в 14 880 п/с.

В технологии *Fast Ethernet* такие же формат кадра, механизм доступа к среде CSMA/CD и топология, как и в Ethernet. Эволюция коснулась нескольких

элементов конфигурации средств физического уровня, включая типы применяемого кабеля, длину сегментов и количество концентраторов, что позволило увеличить пропускную способность. Технология *Fast Ethernet* может использовать различные типы кабеля: витую пару разной категории, оптоволокно, причём по сравнению с Ethernet меняется как количество используемых проводников (для витой пары), так и методы кодирования. При кодировании сигнала применяются методы NRZI и MLT-3, при физическом кодировании - 4В/5В и 8В/6Т. В технологии *Fast Ethernet* реализована возможность выбора наиболее эффективного режима работы двух взаимодействующих портов: скорость передачи - 10 или 100 Мбит/с, вид передачи данных - дуплекс (full-duplex mode) или полудуплекс. Кроме того, во время выбора режима работы осуществляется проверка целостности линии. В режиме full-duplex вместо CSMA/CD используется соединение P2P (точка-точка) и отсутствует понятие коллизий - каждый узел может одновременно передавать и принимать кадры данных. Работа в данном режиме возможна только при соединении сетевого адаптера с коммутатором или же при непосредственном соединении коммутаторов.

Достоинства технологии Fast Ethernet:

- увеличение пропускной способности сегментов сети до 100 мбит/с;
- сохранение совместимости с методом случайного доступа CSMA/CD;
- сохранение формата кадра Ethernet;
- сохранение топологии звезда при построении сети;
- поддержка традиционных сред передачи данных - витой пары и оптово-волоконного кабеля.

Недостатки технологии Fast Ethernet (унаследованы от Ethernet):

- большие задержки доступа к среде при коэффициенте использования среды выше 30-40 %, что связано с применением алгоритма доступа CSMA/CD;
- небольшие расстояния между узлами даже при использовании оптоволокна, что связано с работой метода обнаружения коллизий;
- отсутствие механизмов выбора резервных связей;
- отсутствие поддержки приоритетного трафика приложений реального времени.

Технология Gigabit Ethernet представляет собой эволюционное развитие технологии Fast Ethernet. В данной технологии используются такой же формат кадра (за исключением длины кадра - все кадры с длиной меньше 512 байт расширяются до 512 байт), механизм доступа к среде CSMA/CD и топологию. Изменения (как и в технологии Fast Ethernet) произошли как на

физическом уровне, так и на уровне MAC, в частности, изменились аппаратная составляющая, физическое кодирование, параметры сети.

Технология *Gigabit Ethernet* может использовать в качестве среды передачи как витую пару, так и оптоволокно, причём по сравнению с Ethernet и Fast Ethernet меняется как количество используемых проводников (для витой пары), так и методы кодирования. При кодировании сигнала применяются методы NRZI и MLT-3, при физическом кодировании - 8В/10В. В технологии Gigabit Ethernet (как и в Fast Ethernet) возможна как дуплексная (full-duplex mode), так и полудуплексная передача данных. В режиме full-duplex вместо CSMA/CD используется соединение P2P (точка-точка) и отсутствует понятие коллизий - каждый узел одновременно передаёт и принимает кадры данных. Работа в данном режиме возможна только при соединении сетевого адаптера с коммутатором или же при непосредственном соединении коммутаторов.

Проблемы технологии Gigabit Ethernet:

- обеспечение приемлемого диаметра сети для работы на разделяемой среде - в связи с ограничениями, накладываемыми методом CSMA/CD на длину кабеля, версия Gigabit Ethernet для разделяемой среды допускала бы длину сегмента всего 25 м;
- достижение битовой скорости 1 гбит/с на оптическом кабеле - технология Fibre Channel, физический уровень которой был взят за основу для оптоволоконной версии Gigabit Ethernet, обеспечивает скорость передачи данных всего 800 мбит/с;
- использование в качестве кабеля витой пары.

Для расширения максимального диаметра сети Gigabit Ethernet в полудуплексном режиме до 200 м был увеличен минимальный размер кадра - с 64 до 512 байт (без учёта преамбулы). Это повлекло за собой увеличение времени двойного оборота до 4095 бит, что сделало допустимым диаметр сети около 200 м при использовании одного повторителя. Для увеличения длины кадра до требуемой величины сетевой адаптер должен дополнить поле данных до длины 448 байт так называемым расширением (extention), представляющим собой поле, заполненное запрещёнными символами кода 8В/10В, которые невозможно принять за коды данных.

Для сокращения накладных расходов при использовании слишком длинных кадров для передачи коротких квитанций узлам разрешено передавать несколько кадров подряд, без передачи среды другим станциям. Такой режим получил название Burst Mode - форсированный режим передачи данных. Станция может передать подряд несколько кадров с общей длиной не более 65 536 бит или 8192 байт. Если станции нужно передать несколько небольших

кадров, то она может не дополнять их до размера в 512 байт, а передавать подряд до исчерпания предела в 8192 байт (в этот предел входят все байты кадра, в том числе преамбула, заголовок, данные и контрольная сумма).

Достоинства технологии Gigabit Ethernet:

- увеличение пропускной способности сегментов сети до 1 Гбит/с;
- сохранение совместимости с методом случайного доступа CSMA/CD;
- сохранение формата кадра Ethernet;
- сохранение звездообразной топологии сетей и поддержка традиционных сред передачи данных - витой пары u1080 и оптоволоконного кабеля.

Недостатки технологии Gigabit Ethernet (унаследованы от Ethernet):

- большие задержки доступа к среде при коэффициенте использования среды выше 30-40 %, что связано с применением алгоритма доступа CSMA/CD;
- небольшие расстояния между узлами даже при использовании оптоволоконна, что связано с работой метода обнаружения коллизий;
- отсутствие механизмов выбора резервных связей;
- отсутствие поддержки приоритетного трафика приложений реального времени.

Тема 8. Оборудование аналоговых телефонных сетей

8.1 Телефонные аппараты

В состав телефонных аппаратов, предназначенных для работы в телефонных сетях, входят следующие обязательные элементы: микрофон и телефон, объединенные в микротелефонную трубку, вызывное устройство, трансформатор, разделительный конденсатор, номеронабиратель, рычажный переключатель. На принципиальных электрических схемах телефонный аппарат обозначают буквой Е.

Микрофон служит для преобразования звуковых колебаний речи и электрический сигнал звуковой частоты. Микрофоны могут быть угольными, конденсаторными, электродинамическими, электромагнитными, пьезоэлектрическими. Их можно классифицировать на активные и пассивные. Активные микрофоны непосредственно преобразуют звуковую энергию в электрическую. В пассивных же микрофонах звуковая энергия преобразуется в изменение какого-либо параметра (чаще всего - емкости и сопротивления). Для работы такого микрофона обязательно требуется вспомогательный источник питания. В массовых телефонных аппаратах применяют, как правило, угольные микрофоны, в которых под действием звуковых волн изменяется электрическое сопротивление угольного порошка, находящегося под мембраной. На принципиальных схемах микрофон обозначают латинскими буквами ВМ.

Телефоном называют прибор, предназначенный для преобразования электрических сигналов в звуковые и рассчитанный для работы в условиях нагрузки на ухо человека. В зависимости от конструктивных особенностей телефоны подразделяют на электромагнитные, электродинамические, с дифференциальной магнитной системой и пьезоэлектрические. В телефонных аппаратах наибольшее распространение получили телефоны электромагнитного типа. В таких телефонах катушки закреплены неподвижно. Под действием протекающего в катушках тока возникает переменное магнитное поле, приводящее в движение подвижную мембрану, которая и излучает звуковые колебания. Полоса рабочих частот для микрофонов и телефонов, используемых в телефонных аппаратах, составляет примерно 300...3500 Гц. На принципиальных схемах телефон обозначают латинскими буквами ВФ.

Для удобства пользования микрофон и телефон объединены в микротелефонную трубку.

Вызывное устройство служит для преобразования вызывного сигнала переменного тока в звуковой сигнал. Применяют электромагнитные или электронные вызывные устройства. Первое из них представляет собой одноили двухкатушечный звонок. Сигнал вызова образуется в результате удара бойка о звонковые чашки. Протекающий в катушках ток частотой 16...50 Гц создаст переменное магнитное поле, которое приводит в движение якорь с бойком. Как правило, в телефонных звонках используют постоянные магниты, создающие определенную полярность магнитопровода, поэтому такие звонки

называют поляризованными. На принципиальных схемах звонок обозначают латинскими буквами НА. Электронное вызывное устройство преобразует вызывной сигнал в звуковой тональный сигнал, который может имитировать, например, пение птицы. Электронные вызывные устройства выполняют на транзисторах.

Трансформатор телефонного аппарата предназначен для связи отдельных элементов разговорной части и для согласования их сопротивлений с входным сопротивлением абонентской линии. Он, кроме того, позволяет устранять так называемый местный эффект, о чем будет сказано ниже. Трансформаторы изготавливают с отдельными обмотками или в виде автотрансформаторов.

Разделительный конденсатор служит элементом подключения вызывного устройства к абонентской линии в режиме ожидания и приема вызова. При этом обеспечивается практически бесконечно большое сопротивление телефонного аппарата постоянному току и малое сопротивление - переменному.

Номеронабиратель обеспечивает подачу импульсов набора номера в абонентскую линию с целью установления требуемого соединения. Импульсы служат для периодических замыканий и размыканий линии. В современных телефонных аппаратах применяют механические и электронные номеронабиратели. Дисковый механический номеронабиратель имеет диск с десятью отверстиями. При вращении диска по часовой стрелке заводится пружина механизма номеронабирателя. После отпускания диска он вращается в обратную сторону под действием пружины, при этом происходит периодическое размыкание контактов, коммутирующих абонентскую линию. Необходимая скорость и равномерность вращения диска достигаются наличием центробежного регулятора или фрикционного механизма. Формирование импульсов при свободном движении диска обеспечивает их стабильную частоту и необходимый интервал между импульсными посылками, соответствующими двум соседним цифрам набираемого номера. Необходимый интервал обеспечивается благодаря тому, что число размыканий импульсных контактов всегда выбирается на одно-два больше, чем требуется подать импульсов в линию. Этим обеспечивается гарантированная пауза между пачками импульсов (0,2...0,8 с). При этом указанные лишние импульсы в линию не поступают, поскольку в это время импульсные контакты шунтируются одной из групп контактов номеронабирателя. Имеются также контакты, замыкающие телефон при наборе номера, чтобы исключить неприятные щелчки. Частота импульсов, формируемых номеронабирателем, должна составлять (10 ± 1) имп./с. Число проводов, соединяющих номеронабиратель с другими элементами телефонного аппарата, может быть 3...5. Дисковые Номеронабиратели по принципу действия не являются источником радиопомех, не чувствительны к индустриальным радиопомехам.

Электронные номеронабиратели, которыми комплектуются многие современные телефонные аппараты, выполнены на интегральных микросхемах и транзисторах. Набор номера осуществляют нажатием кнопок клавиатуры -

так называемой тастатуры. Поскольку скорость нажатия кнопок может быть сколь угодно большой, в среднем на наборе одной цифры номера экономится 0,5 с. Кроме того, тастатурные номеронабиратели предоставляют пользователям различные удобства, экономящие время: запоминание последнего набранного номера, возможность запоминания нескольких десятков номеров и др. Питание электронных номеронабирателей осуществляется как от абонентской линии, так и от сети напряжением 220 В через блок питания.

Рычажный переключатель обеспечивает подключение к абонентской линии вызывного устройства телефонного аппарата в нерабочем состоянии (микротелефонная трубка лежит) и разговорных цепей или номеронабирателя в рабочем состоянии (трубка снята). Рычажный переключатель представляет собой группы из нескольких переключающих контактов, срабатывающих при снятии телефонной трубки.

Кроме перечисленных элементов в состав телефонного аппарата входят также резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, образующие разговорную цепь аппарата. При работе телефонного аппарата в разговорном режиме возникает местный эффект, т.е. прослушивание собственной речи в телефоне аппарата. Местный эффект объясняется тем, что ток, протекающий через микрофон, поступает не только в абонентскую линию, но и в собственный телефон. Для устранения этого нежелательного явления в современных телефонных аппаратах используют противоместные устройства.

Существуют различные типы подобных устройств. Рассмотрим одно из них - противоместное устройство мостового типа, представленного на рис. 48.

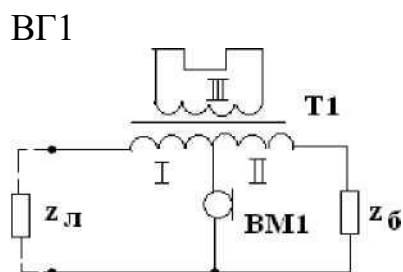


Рисунок 48. Функциональная схема телефонного аппарата с противоместным эффектом

Микрофон BM1, телефон BF1, балансный контур Z6 и линия Zл связаны между собой обмотками трансформатора T1: линейной I, балансной II и телефонной III. Во время разговора, когда сопротивление микрофона изменяется, разговорные токи звуковой частоты протекают по двум цепям: линейной и балансной. Из схемы видно, что токи, протекающие через обмотки I и II, суммируются с противоположными знаками, поэтому ток в обмотке III будет отсутствовать в том случае, если токи в линейной и балансной обмотках равны по величине. Это достигается соответствующим выбором элементов балансного контура Z6, параметры которого зависят от параметров линии Zл.

Сопротивление линии содержит активную и емкостную составляющие, поэтому балансный контур выполняют из резисторов и конденсаторов.

Полное устранение местного эффекта достигается только на одной определенной частоте и определенных параметрах линии, что в реальных условиях невыполнимо, поскольку речевой сигнал содержит широкий спектр частот, а параметры линии изменяются в широких пределах (зависят от удаленности абонента от АТС, переходных сопротивлений и емкостей в кабелях и др.), поэтому на практике местный эффект не уничтожается полностью, а только ослабляется.

Рассмотрим схему телефонного аппарата ТА-72М-5 (рис. 49.), предназначенного для работы в городских сетях. Его коммутационно-вызывную часть образуют рычажный переключатель SA1, звонок HA1, разделительный конденсатор C1 и номеронабиратель SA2. Разговорная часть телефонного аппарата состоит из телефона BF1, микрофона BM1, трансформатора T1, балансного контура (конденсаторы C1 и C2, резисторы R1-R3) и ограничительных диодов VD1, VD2. Разговорная часть выполнена по противоместной схеме мостового типа.

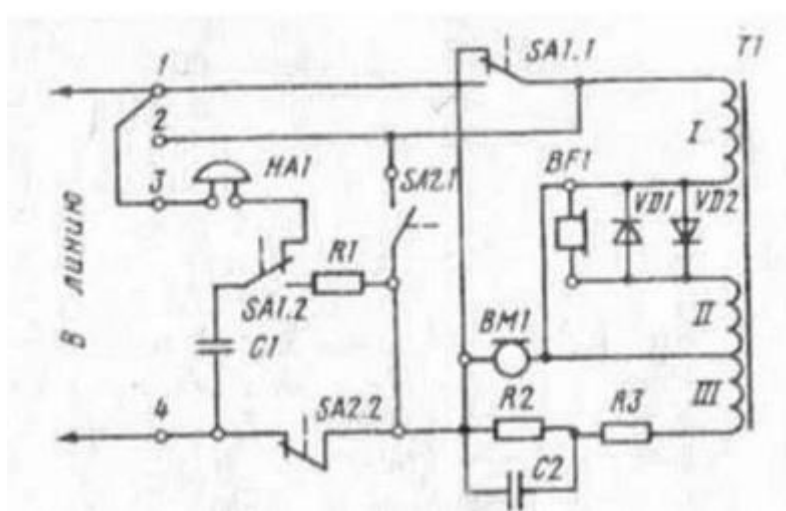


Рисунок 49.Схема телефонного аппарата ТА-72М-5

В исходном состоянии контактов рычажного переключателя SA1 и номеронабирателя SA2, показанном на схеме, к линии подключены последовательно соединенные между собой звонок HA1 и конденсатор C1, а разговорная часть отключена. При появлении вызывного напряжения на зажимах 1 и 4 телефонного аппарата ток протекает по цепи: зажим 1 - перемычка - зажим 3 - обмотка звонка - нормально замкнутые контакты SA1.2 рычажного переключателя - конденсатор C1 - зажим 4. (Направление тока выбрано условно - с таким же успехом его можно было бы считать протекающим от зажима 4 к зажиму 1.)

Услышав звонок, абонент снимает трубку. При этом контакты SA1.1 и SA1.2 переключаются в другое положение, отключая вызывную цепь и подключая к линии разговорную цепь. Сопротивление постоянному току между

зажимами 1 и 4 изменяется от очень большого (сотни килоом - мегаомы) до относительно малого (сотни ом), это фиксируется приборами телефонной станции, и они переключаются в разговорный режим.

При наборе номера контакты SA2.1 номеронабирателя находятся в замкнутом состоянии во время прямого и возвратного вращения диска, что обеспечивает шунтирование разговорной цепи и исключает прослушивание щелчков в телефоне. При возвратном вращении диска номеронабирателя контакты SA2.2 разрывают линейную цепь, и приборы станции по числу таких размыканий фиксируют номер вызываемого абонента. Диоды VD1 и VD2 ограничивают выбросы напряжения на обмотках телефона и исключают резкие звуки, неприятные для уха.

8.2 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 наборы 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, внутризоновых, междугородных и международных сетей используются различные системы межстанционной сигнализации.

8.3 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 тастатурными 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. 7). 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.

Таблица 7.

		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.

Тема 9. Сети сотовой связи

9.1 Общие принципы построения сотовых сетей подвижной связи

Главные элементы сотовой сухопутной подвижной сети электросвязи (ССПСЭ) - это центр коммутации подвижной службы (ЦКПС), а также станции (БС и АС). Все БС соединены со своим ЦКПС стационарными линиями связи (кабельными, радиорелейными и др.), а все ЦКПС сети - стационарными линиями с транзитными коммутаторами ТФОП и обмениваются информацией по общему каналу сигнализации ОКС 7.

Сотовые сухопутные подвижные системы электросвязи строят на основе частотно-территориальных планов (ЧТП). При составлении ЧТП обслуживаемую территорию разделяют между базовыми станциями. Если на БС используется всенаправленная антенна, то граница территории, которую обслуживает одна БС, - окружность, в центре которой располагается БС (рис.50,а). Границы трех соседних окружностей пересекаются в одной точке. Соединив точки пересечения окружностей, уточним границы территории, которую обслуживает каждая БС. Получается шестиугольник - сота.

Сота - это территория, обслуживаемая одной БС при всенаправленных антеннах.

Каждая БС поддерживает радиосвязь с абонентскими станциями, находящимися в своей соте. Во избежание взаимных помех, соседние БС работают на разных частотах. Каждой соте присваивается частотная группа и для всей ССПСЭ составляется частотно-территориальный план.

Основой ЧТП является кластер. Кластер образован совокупностью соседних сот, в которых используются разные частотные группы. Частотные группы внутри кластера не повторяются. Число таких сот в кластере называется его размерностью. Все частотные каналы системы делят между БС, входящими в один кластер. На рис. 50. показаны фрагменты сотовых структур, построенных на базе кластера размерностью 3 ($A_{\text{кл}} = 3$). Цифрами на рис. 50, а обозначены частотные группы.

Сотовая структура может быть двух типов:

- регулярная, использующая всенаправленные антенны (рис.50,а);
- секторная на основе направленных антенн (рис. 50, б).

В качестве направленных антенн на БС используются секторные антенны. Получили распространение секторные антенны с шириной главного лепестка ДНА (а), равной 60, 90 или 120°. На рис. 50, б показаны соты с секторными антеннами при $\alpha = 120^\circ$. В этом случае сота делится на три сектора А, В, С. В каждом секторе устанавливается своя БС, причем в центре соты. Каждая БС работает на своей частоте. Частотные группы обозначены 1А, 1В,

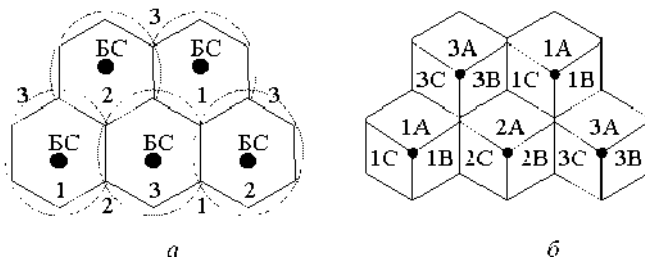


Рис. 50. Сотовые структуры: а - регулярная; б - секторная

Как правило, в центре соты устанавливается несколько антенн. Это могут быть три передающие антенны, две-шесть приемных (для разнесенного приема) и две антенны радиорелейных линий (РРЛ). Место размещения БС получило название «сайт» (от англ. site - местоположение).

При шестиугольной соте удобно использовать кластер размерностью 7. В этом случае можно выбрать разные частотные группы в одной центральной соте и шести пограничных сотах. На рис. 51 приведен фрагмент ЧТП для сети с использованием кластера размерностью 7. Точки соответствуют местам установки базовых станций. Цифрами обозначены номера частотных групп. Утолщенными линиями выделен центральный кластер. Пунктиром показаны пути прихода интерференционных помех на АС, которая находится на границе соты 1 центрального кластера, от БС, работающих на совпадающих частотах. ЧТП составляют так, чтобы уровень интерференционных помех не превышал допустимых значений, что позволяет многократно повторять кластер и реализовать достоинства сотовых систем. Например, если в подвижной системе используется 119 частотных каналов ($N=119$) и кластер размерностью 7 ($U_{кл} = 7$), то число частотных каналов, содержащихся в частотной группе в одной соте, определяется по формуле $N=N_m/N_{ra}=119/7=17$.

Основное достоинство любых сотовых систем - эффективное использование выделенной полосы частот за счет многократного повторения кластера на территории. Такой подход позволяет обслуживать большое число абонентов при ограниченном частотном ресурсе спектра.

В зависимости от радиуса соты r_0 различают макросоты с $r_0 > 0,5$ км, микросоты с $r_0 < 0,5$ км и пикосоты радиусом несколько десятков метров. Макросоты предназначены для обслуживания абонентов в быстро передвигающемся транспорте, микросоты и пикосоты целесообразны при медленном перемещении абонентов. Микросоты были реализованы впервые в системах беспроводных телефонов. Пикосоты служат для обслуживания абонентов в городских районах с большой плотностью населения и в закрытых зонах (подземные гаражи, вокзалы, универмаги).

Область обслуживания ЦКПС разделяется на зоны обслуживания. Например, в стандарте NMT-450 область обслуживания одного ЦКПС содержит 16 зон, в каждой зоне находится до 128 БС, всего в области обслуживания одного ЦКПС может быть до 1024 БС. Адрес (номер) зоны обслуживания базовая станция непрерывно передает по каналу управления. Этот номер принимается абонентской станцией и записывается в ее память. АС

оценивает принимаемый сигнал и при необходимости инициирует процедуру обновления информации о своем местоположении, которое определяется с точностью до зоны, а не до соты. Деление на зоны уменьшает время поиска абонентской станции.

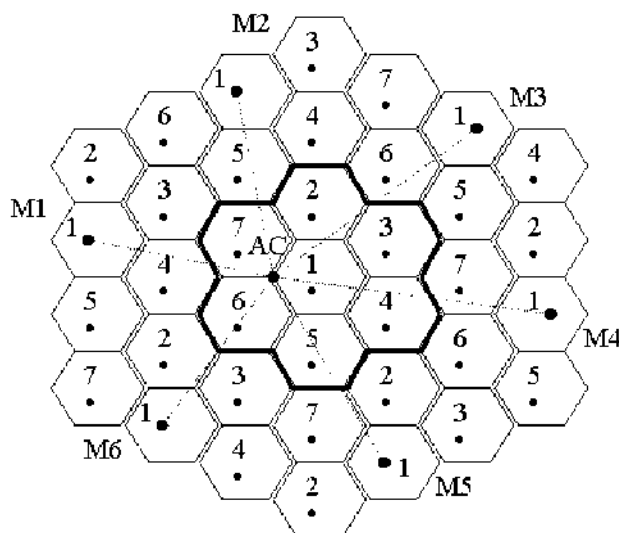


Рисунок 51. Фрагмент ЧТП с $N_{ra} = 7$.

M1-M6 - мешающие базовые станции с частотной группой 1

Ведение абонента. При включении АС выполняется определение ее местоположения и выделение для нее рабочих частот. При пересечении станцией границы соты сеть передает абонента другой БС, при этом на АС производится автоматическая смена рабочих частот. Ведение абонента включает несколько функций. Одна из них - эстафетная передача АС от одной БС к другой при движении абонента с включенной АС. Другая функция - переключение частотных каналов внутри одной соты, например, при поражении сигнала рабочего канала помехой. Наконец, при перегрузке соты ЦКПС может передавать абонентскую станцию другой БС, имеющей свободные частотные каналы. Процедура «ведение абонента» часто называется процедурой эстафетной передачи (ПЭП). Ее называют также хэндовер или хэнд-офф (от англ. handover или амер. hanhd-off). Решение о выполнении ПЭП обычно принимает ЦКПС на основании результатов измерений, сделанных на АС и БС. На станциях измеряются уровни принимаемых сигналов, отношение сигнал-шум в канале и другие параметры. Эти результаты передаются на ЦКПС по каналам управления. Измеренные параметры используются также для регулирования мощности АС.

Роуминг. Если АС находится вне области обслуживания своего ЦКПС, то при ее включении выполняется *процедура роуминга*. Эта процедура предусматривает определение местоположения АС вне «собственной» зоны обслуживания и предоставление абонентской станции каналов связи при перемещении абонентов в пределах сети. Роуминг возможен между ЦКПС сети и между странами. Роуминг бывает автоматический и заказной.

Каналы трафика и управления. В ССПСЭ предусмотрены две основные категории каналов:

- каналы трафика (или линейные каналы), предназначенные для передачи речи и данных (англ. аббревиатура ТСН);
- каналы управления, которые используются для сигнализации и управления, включая ведение абонента (англ. аббревиатура ССН).

Наличие каналов для ведения абонента отличает ССПСЭ от неподвижных систем радиосвязи с сотовой структурой, например, от цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ) со структурой «точка - много точек».

Передача сигналов между БС и ЦКПС. Все БС соединены со своим ЦКПС стационарными линиями связи. На рис. 52 показан фрагмент сети, в которой БС соединены с помощью ЦРРЛ. На каждой БС установлена всенаправленная антенна для связи с АС и две направленные антенны РРЛ. Частоты ЦРРЛ обозначены f_1, \dots, f_4

Функциональная схема ССПСЭ аналогового стандарта. Напомним, что ЦКПС является одним из основных элементов ССПСЭ. В ССПСЭ аналоговых стандартов в состав ЦКПС включены опорный регистр местонахождения (ОРМ) и визитный регистр местонахождения (ВРМ). Регистрами называют базы данных, которые содержат основные сведения об абонентах и оборудовании. В ОРМ хранятся основные сведения об абонентах, постоянно зарегистрированных в области обслуживания данного ЦКПС. Под основными сведениями подразумеваются те данные о статусе и местоположении абонента, которые позволяют послать вызов и предоставить соответствующие услуги. При перемещении АС в область обслуживания другого ЦКПС основные сведения об этом абоненте временно записываются в ВРМ этого ЦКПС и хранятся до тех пор, пока там находится эта АС.

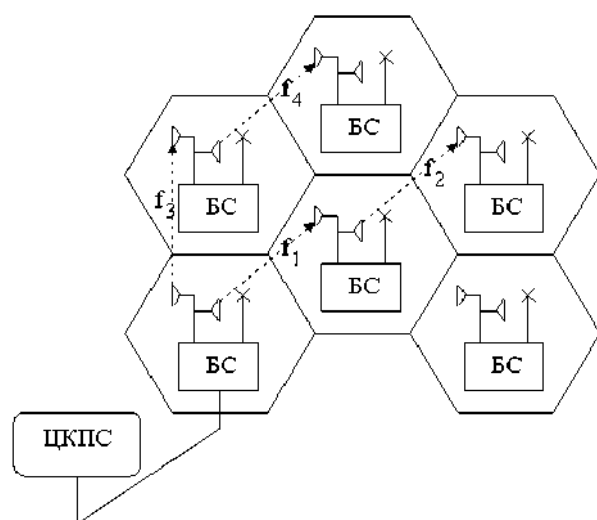


Рисунок 52. Фрагмент сети, в которой БС соединены цифровыми радиорелейными линиями

На функциональной схеме ССПСЭ аналогового стандарта, рис. 53 для каждой АС можно указать опорный центр коммутации (ЦКПС-О), в ОРМ

которого зарегистрирована рассматриваемая АС. Когда эта АС оказывается в зоне обслуживания любого другого ЦКПС, сведения о ней записываются в ВРМ. Все такие центры коммутации для рассматриваемого абонента являются ЦКПС визитера (ЦКПС-В).

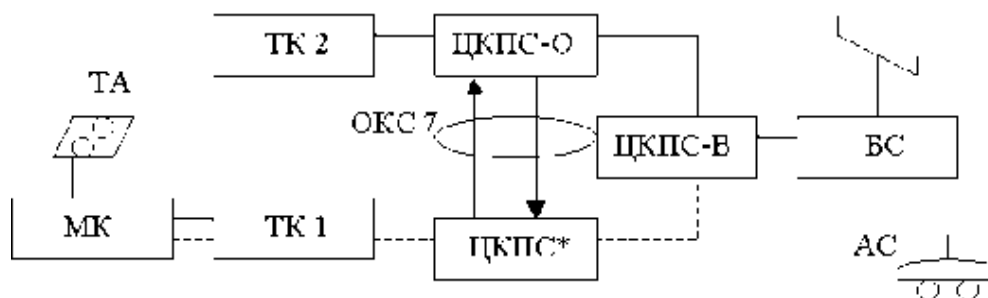


Рисунок 53. Функциональная схема ССПСЭ аналогового стандарта

Центр коммутации подвижной службы обеспечивает соединение между абонентами сети, а также выход в ТФОП; отслеживает местоположение АС в своей области обслуживания; управляет процедурой эстафетной передачи АС, а также переключением частотных каналов при нарушении связи из-за помех или неисправностей; выполняет функции центра эксплуатации и технического обслуживания сети; начисляет оплату абонентам. На рис. 53 показана установленная линия связи между абонентами сети ТФОП и ССПСЭ. В ТФОП показаны местный коммутатор (МК) и транзитные коммутаторы (ТК), ТА - телефонный аппарат. В варианте 1 (сплошные линии) вызов к АС проходит по линии ТА, МК, ТК1, ТК2, ЦКПС-О, ЦКПС-В, БС, АС.

В ССПСЭ предусмотрена шлюзовая функция (Gateway). ЦКПС, обладающий такой функцией, обозначен ЦКПС*. Шлюзовая функция - специальный принцип маршрутизации вызова через ближайший ЦКПС, который теперь становится шлюзовым. Этот ЦКПС* опрашивает ЦКПС-О по каналам ОКС 7 и находит самый короткий путь для установления связи (линия связи обозначена пунктиром). Шлюзовую функцию реализуют, как правило, все ЦКПС.

9.2 Сетевая технология GSM

Рассмотрим ССПСЭ стандарта GSM, схема которой приведена на рис

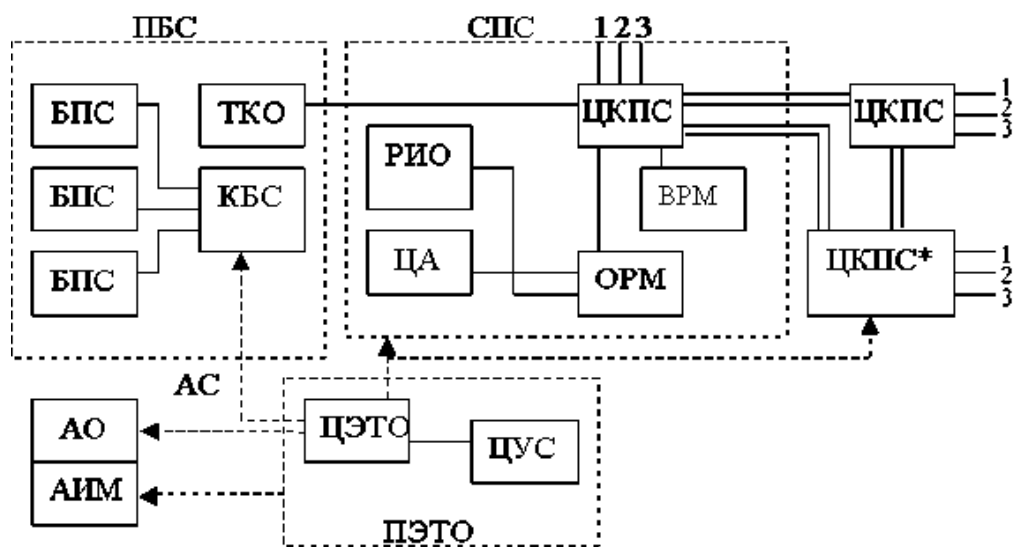


Рисунок 54. Функциональная схема ССПСЭ стандарта GSM

Схема содержит подсистему базовых станций (ПБС); сетевую подсистему (СПС) и подсистему эксплуатации и технического обслуживания (ПЭТО), а также АС. В АС входит абонентское оборудование (АО) и абонентский идентификационный модуль (АИМ) (SIM-карта). Пока не установлен этот модуль, не выполняются соединения АС с вызывающим и вызываемым номером. Подсистема базовых станций содержит: базовые приемопередающие станции (БПС); контроллер БС (КБС) и оборудование транскодирования (ТКО). В составе СПС показаны: ЦКПС, ОРМ, ВРМ, центр аутентификации (ЦА), регистр идентификации оборудования (РИО). ПЭТО содержит центр эксплуатации и технического обслуживания (ЦЭТО) и центр управления сетью (ЦУС). Подсистема базовых станций выполняет функции радиосвязи. Все БС в зоне ПБС соединены линиями связи с контроллером. Каждая БПС обслуживает одну соту. Содержит несколько приемопередатчиков (до 16) - по одному для каждого частотного канала. Каждой БПС стандарта GSM доступны все 124 частотных канала, что позволяет реализовать метод скачкообразной перестройки частоты в стандарте GSM. Один из способов переключения частоты состоит в переключении модулирующего сигнала на входе передатчика. В этом случае число частот, используемых для скачкообразной перестройки, определяется числом приемопередатчиков БС.

Контроллер БС управляет несколькими БПС. Основное назначение контроллера - правильное распределение радиоканалов между БС и АС и определение необходимости их переключений при передвижении. Другая его задача - управление конфигурацией БПС и загрузка программного обеспечения. Контроллер обеспечивает передачу вызова на АС, контролирует соединения, выполняет согласование скоростей передачи для речи, данных и сигналов вызова, кодирование и декодирование, сигналов. Количество приемопередатчиков, которые может обслужить один контроллер, может быть более 100. Оборудование транскодирования включается между КБС и ЦКПС и служит для согласования скоростей цифровых потоков. В ТКО образуется

стандартный первичный цифровой поток (ПЦП) из цифровых сигналов базовых станций. ТКО может размещаться вместе с КБС. Как известно, ПЦП образуют 32 сигнала, каждый со стандартной скоростью 64 кбит/с. Номинальная скорость передачи ПЦП: $B_i = (30 + 2) \cdot 64 = 2048 \text{ кбит/с}$

В стандарте GSM скорость передачи сигнала в одном речевом канале $B_{1GSM} = 13 \text{ кбит/с}$. В транскодере с помощью добавочных битов эта скорость увеличивается до величины $B_{1TKO} = 16 \text{ кбит/с}$. Таким образом, в полосе одного канала стандартной ИКМ передают сигналы четырех речевых каналов, всего речевых каналов в транскодере $N_{TKO} = 30 \cdot 4 = 120$. Оставшиеся два стандартных цифровых канала занимает сигнальная информация. Например, один канал - информация ОКС 7 и один канал - информация управления по протоколу X.25.

Сетевая подсистема выполняет соединение неподвижных и подвижных пользователей с помощью коммутационных средств и баз данных. В системе стандарта GSM функционально разделены ЦКПС и регистры ОРМ и ВРМ. ЦКПС обеспечивает включение подвижного абонента в общие и выделенные сети связи (через выходы 1, 2, 3). Кроме того, центр выполняет коммутацию радиоканалов, а также обеспечивает непрерывность связи при перемещении АС. Как правило, один ВРМ присоединен к одному ЦКПС. Этот регистр - база данных, временно содержащая информацию о подвижных пользователях, находящихся на территории, которой он управляет. ВРМ позволяет правильно определить местоположение АС. Данные о местоположении АС постоянно обновляются. В СПС входят: ЦА - база данных, используемых при аутентификации абонента (ключи и алгоритмы аутентификации и др.) и РИО - база данных, содержащая сведения о подвижных устройствах, позволяющие предотвращать несанкционированное использование АО (угон, кража).

Сотовая сухопутная подвижная система электросвязи стандарта GSM территориально разделяется на зоны действия ЦКПС, которые, в свою очередь, делятся на зоны действия контроллеров БС, называемые зонами местоположения (ЗМ). ЦКПС отслеживает местоположение АС с помощью регистров. ВРМ позволяет вызывать АС, пока она находится в зоне действия, определенного контроллера. Когда АС перемещается в ЗМ другого контроллера, он ее регистрирует, и в ВРМ записывается новый адрес ЗМ.

Входящие вызовы поступают к ЦКПС* - центру коммутации, обладающему шлюзовой функцией, который по номеру вызываемого абонента находит его ОРМ. Последний обращается к ВРМ, который «находит» АС. Шлюзовой ЦКПС* имеет интерфейс с внешними сетями связи. Здесь, как и в случае аналоговых систем, шлюзовую функцию можно установить для каждого ЦКПС. Все ЦКПС в сети соединены линиями связи (ВОЛС, РРЛ, спутниковыми).

Подсистема эксплуатации и техобслуживания построена по иерархическому принципу и состоит из центра эксплуатации и технического обслуживания (ЦЭТО) и центра управления сетью (ЦУС). ЦЭТО позволяет выполнять дистанционный контроль, управление элементами сети и

конфигурацией сети, техническое обслуживание, целостность и обновление сети, сбор данных по трафику, загрузку программного обеспечения.

ЦУС организуют для сетей большой площади. Он служит для надзора за сетью в целом, за анализом характеристик и т.п.

Система стандарта GSM подчиняется принципам эталонной модели OSI. Она имеет три общих внутрисистемных интерфейса:

- 1) **радиоинтерфейс U_m между БС и АС;**
- 2) **интерфейс А между ЦКПС и ПБС;**
- 3) **интерфейс A_{bis} между БПС и КБС.**

Положение внутрисистемных интерфейсов отражено на рис.55.

В данном контексте интерфейс - это точка соединения реально существующих устройств. Благодаря данным интерфейсам оператор системы может соединять аппаратуру разных производителей. Информационные потоки, проходящие через один интерфейс, могут принадлежать различным протоколам.

Кроме этих внутрисистемных интерфейсов система GSM имеет интерфейсы между сетью и внешним оборудованием и интерфейсы для выхода во внешние сети: в сети подвижной связи общего пользования, в ТФОП, в цифровые сети с интеграцией служб (ЦСИС) и др.

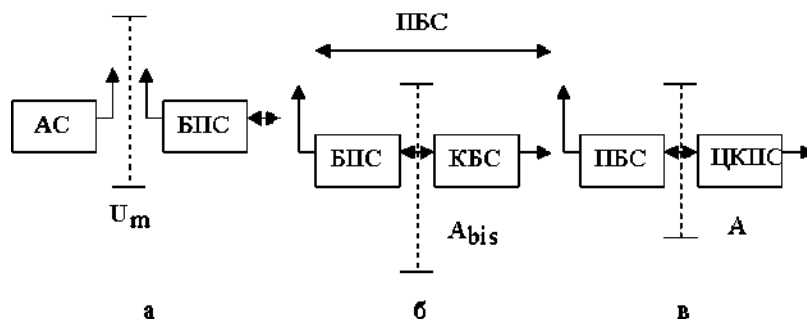


Рисунок 55. Интерфейсы стандарта GSM. а - радиоинтерфейс U_m ; б - интерфейс A_{bis} ; в - интерфейс А

Эфирный интерфейс в стандарте GSM. Передача информации в стандарте GSM организуется кадрами, которые имеют длительность 4,616 мс. Каждый кадр состоит из восьми слотов по 577 мс, и каждый слот соответствует своему каналу речи, т.е. в каждом кадре передается информация восьми речевых каналов.

Частотный канал - это полоса частот, отводимая для передачи информации одного канала связи. В стандарте GSM 900 для передачи информации прямого канала отводится полоса 935.960 МГц, а обратного - 890.915 МГц, т.е. дуплексный разнос по частоте составляет 45 МГц. Один частотный канал занимает полосу = 200 кГц, так что всего в полном диапазоне, с учетом защитных полос, размещается 124 частотных канала.

Физический канал в системе с множественным доступом на основе временного разделения (TDMA) - это временной слот с определенным номером в последовательности кадров эфирного интерфейса. Таким образом, в Стандарте GSM всегда передается информация восьми физических каналов, но при полускоростном кодировании один физический канал содержит два канала трафика, информация которых передается по очереди, через кадр. Иными словами, при этом реализуется временное уплотнение каналов в 3 или 8 раз соответственно при полноскоростном кодировании и в 6 или 16 раз - при полускоростном. В этом и заключается одно из основных преимуществ цифрового поколения сотовой связи по сравнению с аналоговым.

Логические каналы различаются по виду (составу) информации, передаваемой в физическом канале. В принципе в физическом канале может быть реализован один из двух видов логических каналов - канал трафика или канал управления; каждый из них, в свою очередь, может в общем случае существовать в одном из не скольких вариантов (типов).

Каналы трафика TCH (Traffic Channels), в свою очередь, делятся на полноскоростные TCH/FS (с полноскоростным кодированием; F - сокращение от full - полный; S - speech - речь) и полускоростные TCH/HS (H - сокращение от half - половина); в обоих случаях имеется в виду передача речи.

Каналы управления CCH (CoPгол Channels) делятся на 4 типа: вещательные каналы управления BCCH (Broadcast Control Channels), общие каналы управления CCCH (Common Control Channels), выделенные закрепленные каналы управления SDCCCH (Standalone Dedicated Control Channels), совмещенные каналы управления ACCH Associated Control Channels).

Вещательные каналы управления BCCH предназначены для передачи информации от базовой станции к подвижным в вещательном режиме, т.е. без адресования к какой-либо конкретной подвижной станции. В число вещательных каналов управления входят: канал коррекции частоты FCCCH (Frequency Correction Channel)- для подстройки частоты подвижной станции под частоту базовой, канал синхронизации SCH (Synchronization Channel) для кадровой синхронизации подвижных станций, а также канал общей информации, не имеющий отдельного наименования.

Общие каналы управления CCCH включают: канал вызова PCH (Paging Channel), используемый для вызова подвижной станции базовой; канал разрешения доступа AGCH Access Grant Channel) - для назначения закрепленного канала управления, которое также передается от базовой станции на подвижную; канал случайного доступа RACH (Random Access Channel) - для выхода с подвижной станции на базовую с запросом о назначении выделенного канала управления. При передаче информации по общим каналам управления прием информации не сопровождается подтверждением.

Выделенные закрепленные каналы управления SDCCN - автономные каналы управления для передачи информации с базовой станции на подвижную и в обратном направлении.

Совмещенные каналы управления ACCH, также используемые для передачи информации в обоих направлениях (от базовой станции к подвижным и от подвижных к базовой) и имеющие несколько вариантов, включают медленный совмещенный канал управления SAH (Slow Associated Control Channel) - объединяется с каналом трафика (кадр 13 мультикадра канала трафика) или с каналом FAH (Fast Associated Control Channel) - совмещается с каналом трафика, заменяя в соответствующем слоте информацию речи, причем эта замена помечается скрытым флажком.

В отличие от дуплексных каналов (трафика и совмещенных каналов управления, размещаемых в канале трафика эфирного интерфейса) симплексные каналы управления BCCH и CCCH размещаются в нулевом слоте кадров канала управления эфирного интерфейса на так называемых несущих BCCH, имеющихся в ячейке.

Сообщение канала ЯАСН передается подвижной станцией раз в 235 мс, т.е. только в одном из кадров мультикадра, при этом используется структура слота, соответствующая пачке доступа. Сообщения логических каналов управления в большинстве случаев кодируются со значительной избыточностью с целью защиты от ошибок при передаче информации.

Рассмотрим сначала наиболее простой случай - работу подвижной станции в пределах одной ячейки своей (домашней) системы, без передачи обслуживания. В этом случае в работе подвижной станции можно выделить четыре этапа, которым соответствуют четыре режима работы:

- включение и инициализация;
- режим ожидания;
- режим установления связи (вызова);
- режим ведения связи (телефонного разговора).

После включения подвижной станции, т.е. после замыкания цепи питания, производится инициализация - начальный запуск. В течение этого этапа происходит настройка подвижной станции на работу в составе системы - по сигналам, регулярно передаваемым базовыми станциями по соответствующим каналам управления, после чего подвижная станция переходит в режим ожидания. В стандарте GSM подвижная станция сканирует все имеющиеся частотные каналы, настраивается на канал с наиболее сильным сигналом и по наличию пачки коррекции частоты определяет, передается ли в этом частотном канале информация канала BCCH. Если нет, то станция перестраивается на следующий по уровню сигнала частотный канал, и так до тех пор, пока не будет найден канал BCCH. Затем подвижная станция находит пачку синхронизации, синхронизируется с выбранным частотным каналом, расшифровывает дополнительную информацию о базовой станции (в частности, 6-битовый код идентификации базовой станции) и принимает окончательное решение о продолжении поиска или о работе в данной ячейке.

Находясь в режиме ожидания, подвижная станция отслеживает:

- изменения информации системы - эти изменения могут быть связаны как с изменениями режима работы системы, так и с перемещениями самой подвижной станции, например с переходом ее в другую ячейку;
- команда системы - например, команду подтвердить свою работоспособность («регистрация» в конкретной ячейке);
- получение вызова со стороны системы;
- инициализацию вызова со стороны собственного абонента.

Кроме того, подвижная станция может периодически, например раз в 10...15 мин, подтверждать свою работоспособность, передавая соответствующие сигналы на базовую станцию (подтверждение «регистрации» или уточнение местоположения). В центре коммутации для каждой из включенных подвижных станций фиксируется ячейка, в которой она зарегистрирована, что облегчает организацию процедуры вызова подвижного абонента. Если подвижная станция не подтверждает свою работоспособность в течение определенного промежутка времени, например, пропускает два или три подтверждения «регистрации» подряд, центр коммутации считает ее выключенной, и поступающий на ее номер вызов не передается.

В стандарте GSM подвижная станция измеряет и периодически передает на базовую станцию следующие параметры:

- уровень сигнала базовой станции рабочей («своей») ячейки и до 16 смежных ячеек, измеряемый по сигналу канала BCCH;
- код качества принимаемого сигнала в рабочей ячейке - функцию оценки частоты битовой ошибки (BER - Bit Error Rate) по принятому сигналу перед канальным декодированием.

Если со стороны системы поступает вызов номера подвижного абонента, центр коммутации направляет этот вызов на базовую станцию той ячейки, в которой «зарегистрирована подвижная станция, или на несколько базовых станций в окрестности этой ячейки с учетом возможного перемещения абонента за время, прошедшее с момента последней «регистрации», а базовые станции передают его по соответствующим каналам вызова. Подвижная станция, находящаяся в режиме ожидания, получает вызов и отвечает на него через свою базовую станцию, передавая одновременно данные, необходимые для проведения процедуры аутентификации. При положительном результате аутентификации назначается канал трафика, и подвижной станции сообщается номер соответствующего частотного канала, Подвижная станция настраивается на выделенный канал и совместно с базовой станцией выполняет необходимые шаги по подготовке сеанса связи. На этом этапе подвижная станция настраивается на заданный номер слота в кадре, уточняет задержку во времени, подстраивает уровень излучаемой мощности и т.п.

Выбор временной задержки производится с целью временного согласования слотов в кадре (на прием в базовой станции) при организации связи с подвижными станциями, находящимися на разных дальностях от базовой. При этом временная задержка передаваемой подвижной станцией

пачки регулируется по командам базовой станции. В стандарте С8М при выборе задержки используются пачки доступа. Задержка регулируется в пределах от 0 до 63 бит с дискретом 1 бит (3,69 мкс). В дальнейшем базовая станция отслеживает изменение дальности до подвижной станции и корректирует величину задержки, выдавая соответствующие команды на подвижную станцию. При малых геометрических размерах ячейки, т.е. при малых величинах задержки (в пределах защитного бланка или защитного интервала), компенсация временной задержки может не производиться.

В стандарте О8М производятся также привязка подвижной станции к базовой по частоте с использованием пачки коррекции частоты и временная синхронизация подвижной станции с базовой с точностью до 1/4 бита, для чего в пачке синхронизации передаются номера четверти бита (QN - Quarter Bit Number, в пределах от 0 до 624), бита N - Bit Number, в пределах от 0 до 156), слота (TN - Timeslot Number, в пределах от 0 до 7) и кадра (FN - Frame Number, в пределах от 0 до 2715648); одновременно в пачке синхронизации передаются 3-битовый код (код цвета - *color code*) сети сотовой связи и 3-битовый код базовой станции, составляющие в совокупности уникальный 6-битовый идентификатор базовой станции (B SIC - Base Station Identifier Code).

Затем базовая станция выдает сообщение о подаче сигнала вызова (звонка), которое подтверждается подвижной станцией, и вызываемый абонент получает возможность услышать сигнал вызова. Когда вызываемый абонент отвечает на вызов («снимает трубку», т.е. нажимает соответствующую кнопку на панели управления абонентского аппарата), подвижная станция выдает запрос на завершение соединения. С завершением соединения начинается собственно сеанс связи - абоненты ведут разговор.

В процессе разговора подвижная станция производит обработку передаваемых и принимаемых сигналов речи, а также пере даваемых одновременно с речью сигналов управления. По окончании разговора происходит обмен служебными сообщениями между подвижной и базовой станцией (Запрос или команда на отключение с подтверждением), после чего передатчик подвижной станции выключается, и станция переходит в режим ожидания,

Если вызов инициируется со стороны подвижной станции, т.е. абонент набирает номер вызываемого абонента, убеждается в правильности набора по отображению на дисплее и нажимает соответствующую кнопку («вызова») на панели управления, то подвижная станция передает через свою базовую станцию сообщение с указанием вызываемого номера и данными для аутентификации подвижного абонента. После аутентификации базовая станция назначает канал трафика, и последующие шаги подготовке сеанса связи производятся таким же образом, как и при поступлении вызова со стороны системы.

Затем базовая станция сообщает на центр коммутации о готовности подвижной станции, центр коммутации передает вызов в сеть, а абонент подвижной станции получает возможность следить за ходом его выполнения

(слышит сигналы «вызов» или «занято»). Соединение завершается на стороне сети.

Описанная процедура схематически иллюстрируется на рис.56.

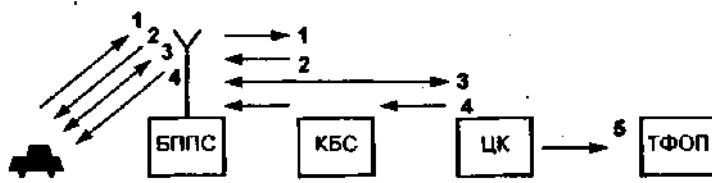


Рисунок 56. Упрощенная схема установления связи (исходящий вызов, стандарт GSM) [2]. БПТС - базовая приемо-передающая станция; КБС - контроллер базовой станции; ЦК - центр коммутации; ТФОП - телефонная сеть общего пользования

Цифрами на рис. 56 обозначена такая последовательность действий:

1. Подвижная станция через канал случайного доступа (RACH) запрашивает выделенный закрепленный канал управления (SDCCH) для установления связи.

2. Контроллер базовой станции через канал разрешения доступа (AGCH) назначает канал SDCCH.

3. Подвижная станция через канал SDCCH проводит аутентификацию и выдает запрос на вызов (с номером вызываемого абонента).

4. Центр коммутации выдает команду на назначение канала трафика (TCH).

5. Центр коммутации выдает вызываемый номер на стационарную телефонную сеть, и после ответа вызываемого абонента завершает соединение.

Процесс разговора и завершение сеанса связи не отличаются от предыдущего случая.

Если подвижный абонент разговаривает с другим подвижным абонентом, то процедура установления связи и проведения сеанса связи происходит практически таким же образом. Если при этом оба подвижных абонента относятся к одной и той же сотовой системе, то связь между ними устанавливается через центр коммутации системы без выхода в стационарную телефонную сеть.

Аутентификация - процедура подтверждения подлинности абонента системы подвижной связи, предотвращающая несанкционированный доступ к услугам сотовой сети. Идентификация - процедура отождествления подвижной станции, т.е. процедура установления ее принадлежности к одной из групп, обладающих определенными свойствами или признаками.

В стандарте GSM процедура аутентификации связана с использованием модуля идентификации абонента (Subscriber Identity Module - SIM), называемого также SIM-картой (или смарт-картой). Модуль SIM - это съемный

модуль, напоминающий по внешнему виду пластиковую кредитную карточку. Модуль вручается абоненту одновременно с аппаратом. Модуль содержит персональный идентификационный номер абонента (Personal Identification Number - PIN) международный идентификатор абонента подвижной связи (International Mobile Subscriber Identity - IMSI), индивидуальный ключ аутентификации абонента Ki, индивидуальный алгоритм аутентификации абонента A3, алгоритм вычисления ключа шифрования A8. Для аутентификации используется зашифрованный отклик (signed response S), являющийся результатом применения алгоритма A3 к ключу Ki и квазислучайному числу R, получаемому подвижной станцией от центра аутентификации через центр коммутации. Алгоритм A8 используется для вычисления ключа шифрования сообщений. Уникальный идентификатор IMSI для текущей работы заменяется временным идентификатором TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity - временный идентификатор абонента подвижной связи), присваиваемым аппарату при его первой регистрации в конкретном регионе, определяемом идентификатором LAI (Location Area Identity - идентификатор области местоположения), и сбрасываемым при выходе аппарата за пределы этого региона. Идентификатор PIN-код, известный только абоненту, который должен служить защитой от несанкционированного использования SIM-карты, например, при ее утере. После трех неудачных попыток набора PIN SIM-карта блокируется и блокировка может быть снята либо набором дополнительного кода - персонального кода разблокировки (Personal unblocking key - PUK), либо по команде с центра коммутации.

Процедура аутентификации стандарта GSM схематически показана на рис. 57. Пунктиром отмечены элементы, не относящиеся непосредственно к процедуре аутентификации, но используемые для вычисления ключа шифрования Kc. Вычисление производится каждый раз при проведении аутентификации.

Процедура идентификации заключается в сравнении идентификатора абонентского аппарата с номерами, содержащимися в соответствующих черных списках регистра аппаратуры с целью аутентификации из обращения украденных и технически неисправных аппаратов. Идентификатор аппарата делается таким, чтобы его изменение или подделка были трудными и экономически невыгодными.

Базовая станция, находящаяся примерно в центре ячейки, обслуживает все подвижные станции в пределах своей ячейки. При перемещении подвижной станции из одной ячейки в другую ее обслуживание соответственно передается от базовой станции первой ячейки к базовой станции второй. Этот процесс называется передачей обслуживания (американский термин - handoff, англо-европейский - hanover.). Процедура передачи обслуживания имеет место только в том случае, когда подвижная станция пересекает границу ячеек во время сеанса связи и связь (телефонный разговор) при этом не прерывается. Если же подвижная станция перемещается из одной ячейки в другую, находясь в режиме ожидания, она просто отслеживает эти перемещения по информации

системы, передаваемой по каналам управления, и в нужный момент перестраивается на более сильный сигнал другой базовой станции.

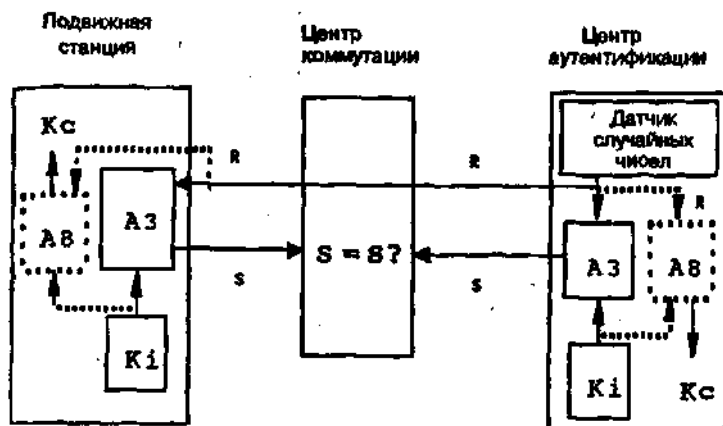


Рисунок 57. Схема процедуры аутентификации (стандарт GSM).

R - случайное число; А3 - алгоритм аутентификации; А8 - алгоритм вычисления ключа шифрования; Кі - ключ аутентификации; Кс - ключ шифрования;

S - зашифрованный отклик (Signed Response - SRES)

Тема 10. Системы радиосвязи

10.1 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 дециметровых волнах, ионосферные и пр.

Для обеспечения *односторонней* радиосвязи (Рис.58) 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.

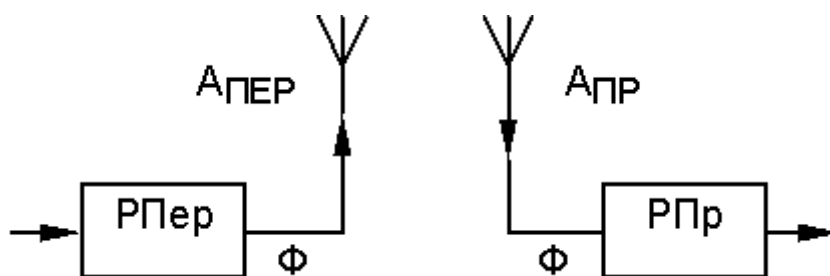


Рисунок 58. Структура системы радиосвязи

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.

10.2 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 устройством

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{ОБЩ}}} \cdot 100\% \quad (13)$$

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.).

10.3 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.

10.4 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 раскрыт - 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 выражают в процентах:

$$\eta = \frac{P_{\text{изл.}}}{P_{\text{под.}}} \cdot 100\% \quad (14)$$

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 φ и меридиональным θ углами сферической системы координат, как показано на Рис. 59. 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. Построение такой диаграммы неудобно, поэтому на практике обычно строят диаграмму направленности в какой-нибудь одной плоскости, в которой она изображается плоской кривой или в полярной или декартовой системе координат.

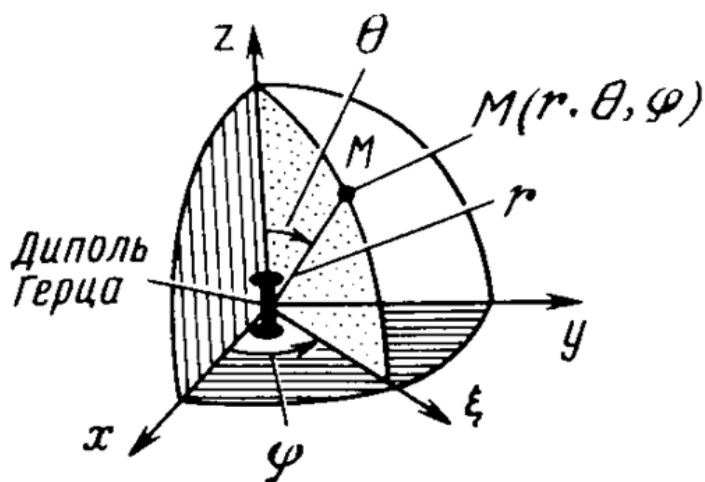


Рисунок 59. Сферическая система координат

На Рис. 59 в начале координат показана простейшая проволочная антенна - диполь Герца, пространственная диаграмма направленности которой приведена на Рис.60,а. Диаграммы направленности в азимутальной и меридиональной плоскостях, построенные в полярной системе координат, представлены на Рис.60, б и в.

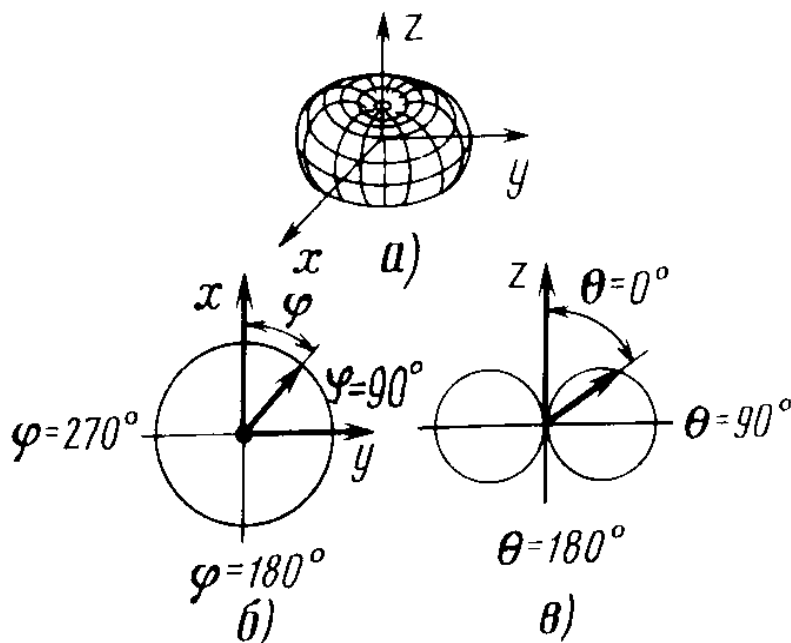


Рисунок 60. Диаграммы направленности: а - объемная, б, в - в азимутальной и меридианальной плоскостях

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.61.

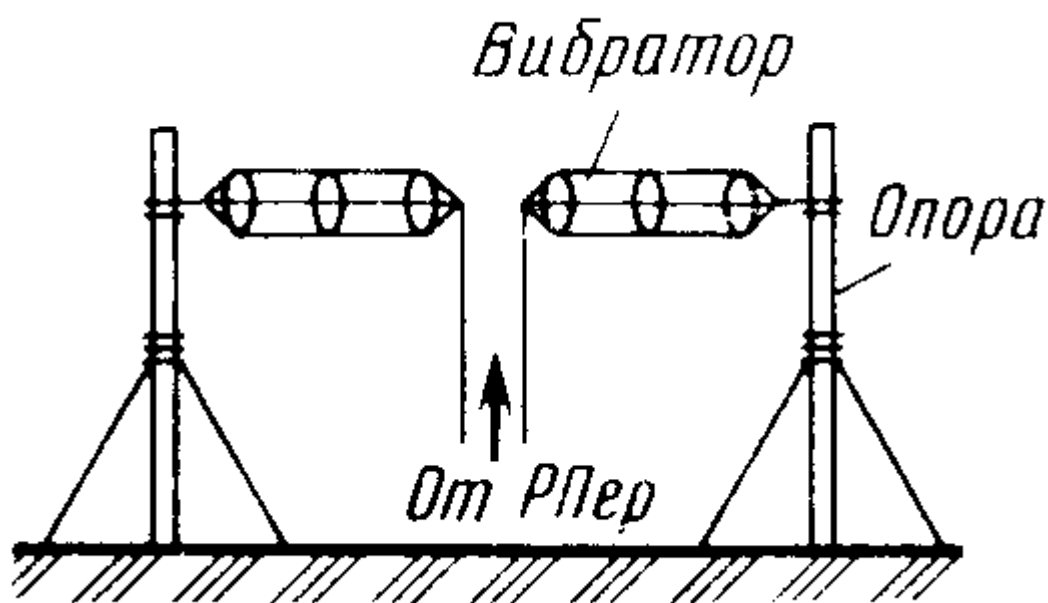


Рисунок 61. Проволочная антенна - вибратор горизонтальный диапазонный

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.62). Наиболее распространены апертурные (зеркальные) антенны.

Схема простейшей из них - параболической антенны - приведена на Рис.63. Особенность распространения метровых, дециметровых, сантиметровых и более коротких радиоволн такова, что антенны необходимо размещать на специальных опорах высотой десятки и даже сотни метров.

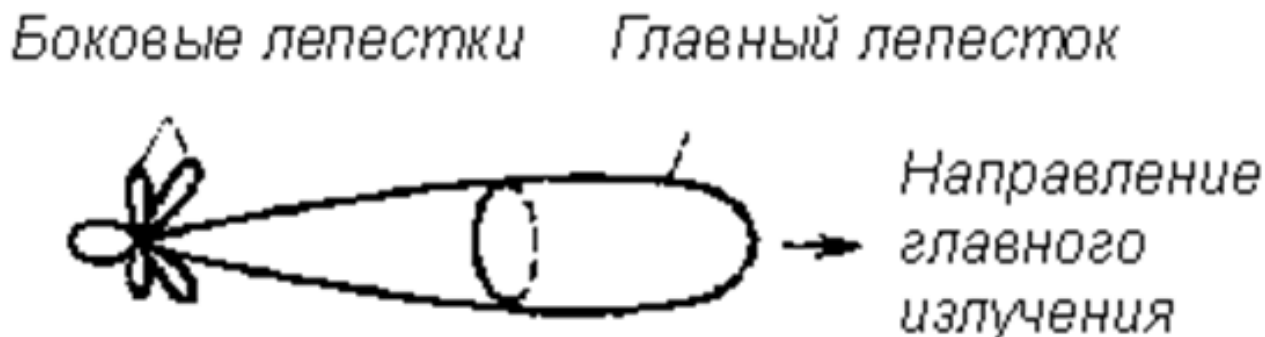


Рисунок 62. Диаграмма направленности "игольчатой формы"

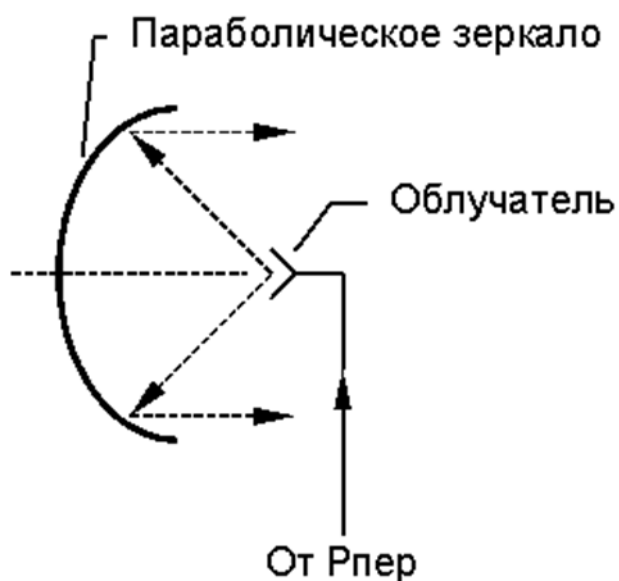


Рисунок 63. Принцип построения однозеркальной параболической антенны

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.63.

*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 умоощнения 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 декаметровых 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.

10.5 Радиорелейные системы передачи

*Радиосистема передачи, в которой сигналы электросвязи передаются с помощью наземных ретрансляционных станций, называется **радиорелейной системой передачи**.*(см. рис 64)

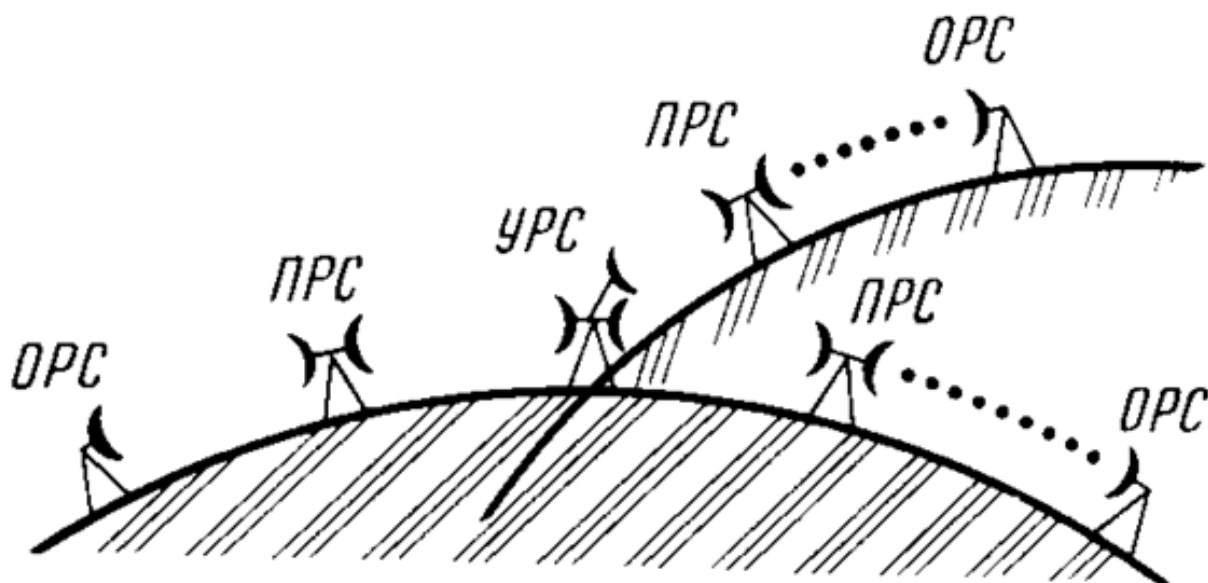


Рисунок 64. Принцип радиорелейной связи

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.

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.65). Недостатком подобной схемы является необходимость обработки сигнала на СВЧ.

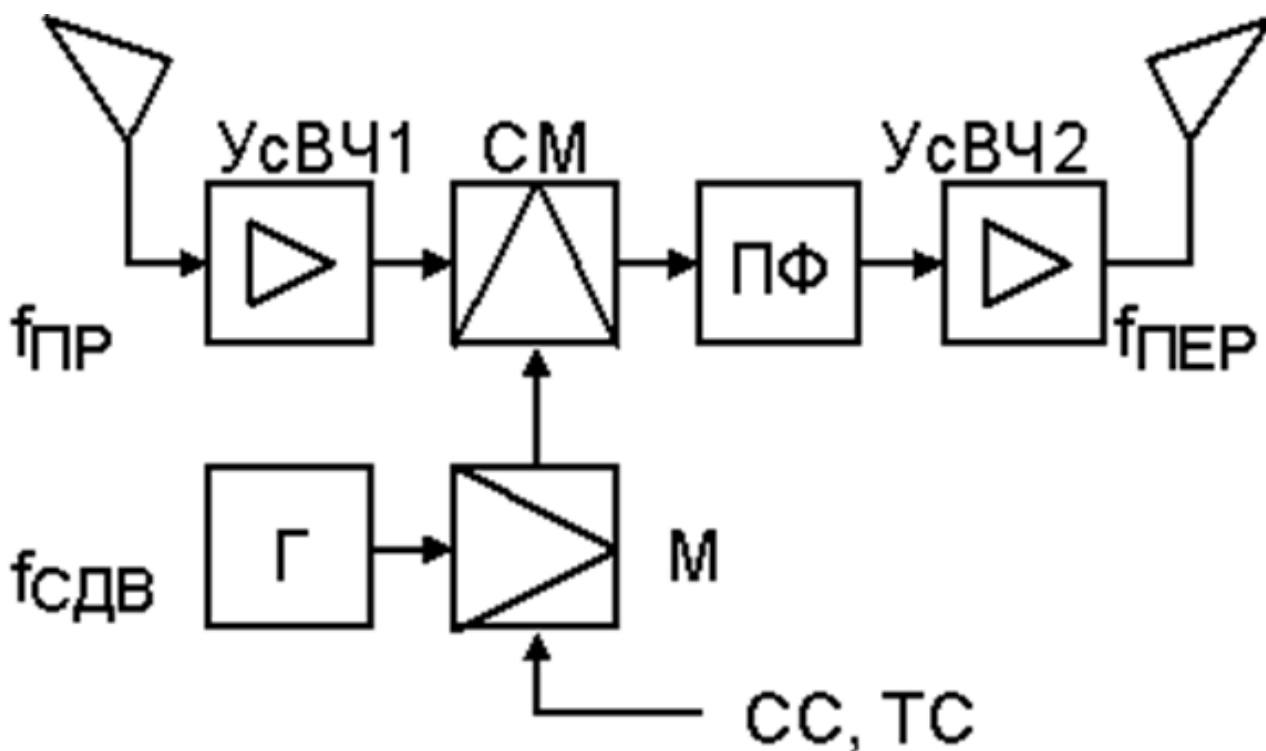


Рисунок 65. Приемопередающая аппаратура с усилением на СВЧ и преобразованием частоты

Наиболее часто используются ППА, в которой обработка сигналов производится на промежуточной частоте $f_{ПЧ}$ (Рис.66). Номинальное значение $f_{ПЧ}$ выбирается в соответствии с рекомендациями МСЭ-Р и обычно составляет 70 МГц.

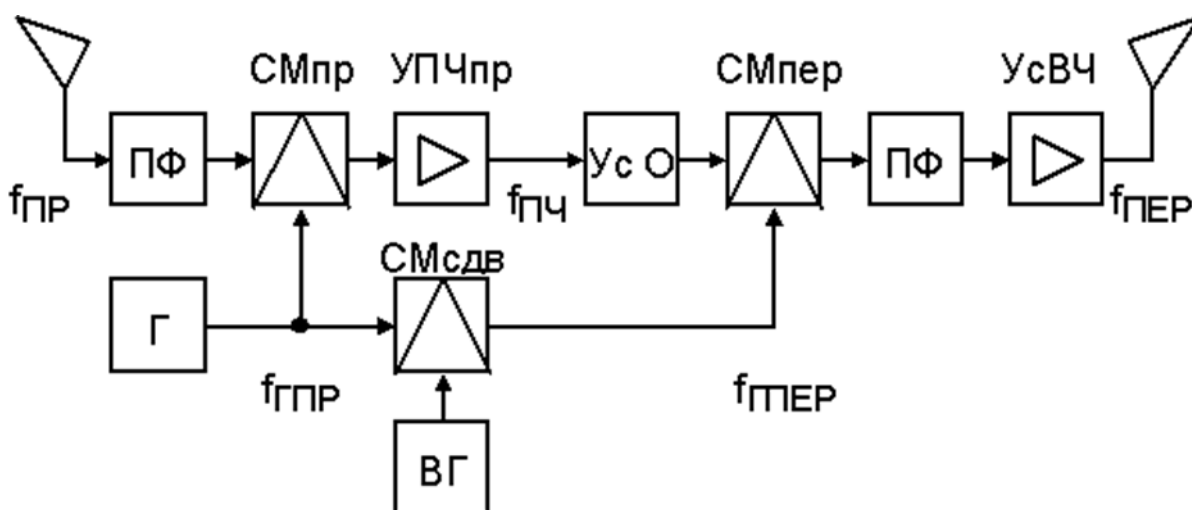


Рисунок 66. Приемопередающая аппаратура с обработкой на промежуточной частоте

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

10.6 Радиосистемы передачи на декаметровых волнах

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

В ионосфере 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.

10.7 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. 67) - на *высокой эллиптической орбите* (ВЭО), *геостационарной орбите* (ГСО) и

низковысотной орбите (НВО). Каждый тип ИСЗ имеет свои преимущества и недостатки.

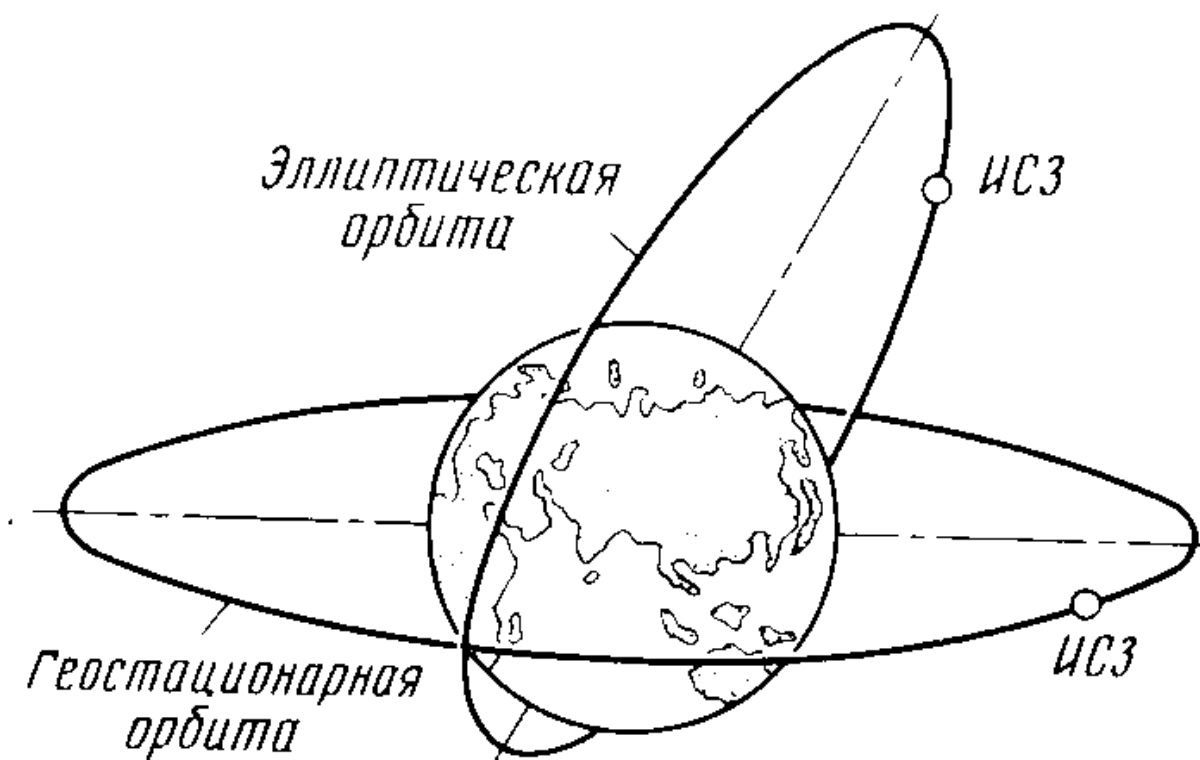


Рисунок 67. Виды орбит ИСЗ

Примером ИСЗ с **ВЭО** могут служить отечественные спутники типа "Молния" с периодом обращения 12 часов, наклоном 63° , 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.

Заключение

В данном пособии были рассмотрены основные вопросы, касающиеся функционирования устройств проводной связи, радиосвязи, сотовой связи, систем передачи данных, а также - методов построения сетей, модуляции и кодирования информации. Одной из целей, которая ставилась авторами при разработке пособия является устранение "белых пятен" в изложении материала, принятом в традиционной литературе, поэтому в данном пособии и приведены достаточно подробные описания, что редко можно встретить даже в специализированной литературе по радиосвязи. Это позволит обучающимся усваивать материал в более дружественной форме и не относиться к принципиальным как к некоему тайному знанию. Тем не менее, современная техника связи охватывает значительно большее количество областей, которые практически невозможно изложить в объеме данного учебно-методического пособия. В связи с этим, авторы рекомендуют обучающимся не пренебрегать рекомендуемой для изучения литературой и воспринимать весь спектр источников информации по дисциплине комплексно, развивая при этом навыки поиска и систематизации знаний, что является одной из важнейших компетенций современного специалиста в любой области.

Список использованных источников:

- 1 Вемян Г.В. Передача речи по сетям электросвязи. - М.: Радио и связь, 1985. - 272 с.
- 2 Давыдов Г.Б. и др. Сети электросвязи. М., "Связь", 1977.
- 3 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
- 4 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.
- 5 Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах/Б.И. Крук, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов; под ред. профессора В.П. Шувалова. – Изд. 3-е, испр. И доп. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 647 с.: сл.
- 6 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.
- 7 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.
- 8 Зингеренко А.М., Баева Н.Н., Тверецкий М.С. Системы многоканальной связи. - М.: Связь, 1980. - 439 с.
- 9 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.
- 10 Назаров М.В., Прохоров Ю.Н. Методы цифровой обработки и передачи речевых сигналов. - М.: Радио и связь, 1985. - 176 с., ил.
- 11 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.
- 12 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.
- 13 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.