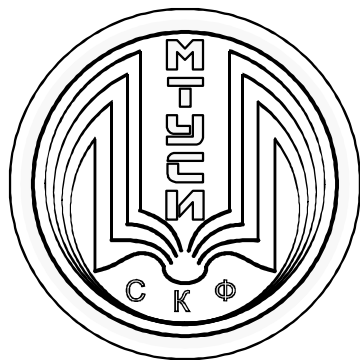


МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»



Кафедра «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Методические указания
к выполнению практических занятий по дисциплине

«Эволюция технологий электросвязи»

(для студентов по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи квалификации «бакалавр»)

Ростов-на-Дону
2022

УДК

Составитель: доцент кафедры ИТСС Борисов Б.П

Методические указания предназначены для обеспечения проведения практических занятий со студентами направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, квалификации «бакалавр».

Пособие обеспечивает получение практических навыков по основополагающим вопросам изучаемой дисциплины.

Объем методического пособия определен программой по дисциплине «Эволюция технологий электросвязь».

Рецензент: доцент кафедры ИТСС, к.т.н., доцент Ершов В.В.

Методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры ИТСС «28» ноября 2022 г. Протокол № 4.

© СКФ МТУСИ, Борисов Б.П. 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Организация и проведение практических занятий	4
2	Практическое занятие № 1	
	Тема «Телекоммуникационная сеть РФ»	6
3	Практическое занятие № 2	
	Тема: «Оконечные устройства телефонных сетей общего пользования» ...	17
4	Практическое занятие № 3	
	Тема: «Основные характеристики сигналов и каналов»	30
5	Практическое занятие № 4	
	Тема: «Построение систем коммутации каналов»	46
6	Практическое занятие № 5	
	Тема: «Агрегатные сигналы электросвязи»	53
7	Практическое занятие № 6	
	Тема: «Структура пакета и передача его по сети связи»	60
8	Практическое занятие № 7	
	Тема: «Модуляция и манипуляция радиосигналов»	65
9	Практическое занятие № 8	
	Тема: «Расчет протяженности радиолинии»	80

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Цели практических занятий:

- помочь обучающимся систематизировать, закрепить и углубить знания теоретического характера;
- научить студентов приемам решения практических задач, способствовать овладению навыками и умениями выполнения расчетов, графических и других видов заданий;
- научить их работать с книгой, служебной документацией и схемами, пользоваться справочной и научной литературой;
- формировать умение учиться самостоятельно, т.е. овладевать методами, способами и приемами самообучения, саморазвития и самоконтроля.

Практические занятия — метод репродуктивного обучения, **обеспечивающий связь теории и практики, содействующий выработке у студентов умений и навыков применения знаний**, полученных на лекции и в ходе самостоятельной работы.

Практические занятия играют важную роль в выработке у студентов навыков применения полученных знаний для решения практических задач совместно с преподавателем.

Структура практических занятий:

1. Вступление преподавателя – 5 мин.
2. Ответы на вопросы студентов по неясному материалу – до 10 мин. вначале и далее по мере необходимости.
3. Практическая часть – до 160 мин.
4. Заключительное слово преподавателя – до 5 мин.

Практические занятия представляют собой занятия по решению различных прикладных задач, теоритический материал для которых был дан на лекциях. В итоге у каждого обучающегося должен быть выработан определенный профессиональный подход к решению каждой задачи и интуиция. На практические занятия выносятся четыре задачи. Преподаватель стремится к тому, чтобы занятие давало целостное представление о предмете и методах изучаемой дисциплине, причем методическая функция выступает здесь в качестве ведущей.

Список рекомендованной литературы:

1. Федеральный закон "О связи" от 07.07.2003 N 126-ФЗ (действующая редакция, 2016)
2. «Требования к построению телефонной сети общего пользования». Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций №97 от 08.08.2005 г. 1. Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов; Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 1 - Современные технологии под ред. профессора В.П. Шувалова. М.: Горячая линия - Телеком, 2012.
3. Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.П. В.Н. Попантонопуло, Шувалов; Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 2 – Радиосвязь, радиовещание, телевидение под ред. профессора В.П. Шувалова –М.: Горячая линия - Телеком, 2014.
4. В.В. Величко, Г.П. Катунин, В.П. Шувалов; Основы инфокоммуникационных технологий. Учебное пособие для вузов под ред. профессора В.П. Шувалова - М.: Горячая линия – Телеком, 2009.
5. Олифер В.Г., Олифер Н.А.; Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. Спб.: Питер, 2016.
6. Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н. и др. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / Под ред. Иванова В.И. - Изд. 2-е, М.: Горячая линия - Телеком, 2005. – 232 с.
7. Крухмалев В. В., Гордиенко В.Н., А. Д. Моченов. Цифровые системы передачи: Учебное пособие для вузов - Издание 2-е, перераб. и доп. М.: Горячая линия - Телеком, 2012. – 376 с.
8. Автоматическая коммутация: Учебник для вузов / Под ред. Ивановой О. Н. – М.: Радио и связь, 1988. – 624 с.
9. Берлин А.Н. Устройства, системы и сети коммутации. – СПб.: «Петеркон», 2003. – 384с.
10. Росляков А.В. Системы коммутации. Учеб. пособие по дисциплине «Сети связи и системы коммутации». - Самара: ФГБОУ ВО ПГУТИ, 2017. - 144 с.

Практическое занятие 1

Телекоммуникационная сеть РФ

Цель работы: Изучить принципы построения сети электросвязи РФ

Задание:

1. Изучить состав сети электросвязи РФ и назначение элементов.
2. Рассмотреть варианты построения проводных и беспроводных сетей связи.

Краткие теоретические сведения

1 Единая сеть электросвязи Российской Федерации

Статья 11. Федеральная связь

1. Федеральную связь образуют все организации и государственные органы, осуществляющие и обеспечивающие электросвязь и почтовую связь на территории Российской Федерации.
2. Материально-техническую основу федеральной связи составляют единая сеть электросвязи Российской Федерации и сеть почтовой связи Российской Федерации.

Статья 12. Единая сеть электросвязи Российской Федерации

1. Единая сеть электросвязи Российской Федерации состоит из расположенных на территории Российской Федерации сетей электросвязи следующих категорий:
 - сеть связи общего пользования;
 - выделенные сети связи;
 - технологические сети связи, присоединенные к сети связи общего пользования;
 - сети связи специального назначения и другие сети связи для передачи информации при помощи электромагнитных систем.
2. Для сетей электросвязи, составляющих единую сеть электросвязи Российской Федерации, федеральный орган исполнительной власти в области связи:
 - определяет порядок их взаимодействия, а в предусмотренных законодательством Российской Федерации случаях - порядок централизованного управления сетью связи общего пользования;
 - в зависимости от категорий сетей связи (за исключением сетей связи специального назначения, а также выделенных и технологических сетей связи, если они не присоединены к сети связи общего пользования) устанавливает требования к их проектированию, построению, эксплуатации, управлению ими или нумерации, применяемым средствам связи, организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сетей связи, в том числе в чрезвычайных ситуациях, защиты сетей связи от несанкционированного доступа к ним и передаваемой по ним информации, порядку ввода сетей связи в эксплуатацию;
 - устанавливает в соответствии с законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений обязательные метрологические требования к

измерениям, выполняемым при эксплуатации сети связи общего пользования, и к применяемым средствам измерений в целях обеспечения целостности и устойчивости функционирования сети связи общего пользования.

2.1. Требования к применяемым средствам связи, управлению ими, организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сетей связи, в том числе в чрезвычайных ситуациях, защиты сетей связи от несанкционированного доступа к ним и передаваемой по ним информации, порядку ввода сетей связи в эксплуатацию устанавливаются по согласованию с федеральным органом исполнительной власти в области обеспечения безопасности.

3. Операторы связи всех категорий сетей связи единой сети электросвязи Российской Федерации обязаны создавать системы управления своими сетями связи, соответствующие установленному порядку их взаимодействия.

Статья 13. Сеть связи общего пользования

1. Сеть связи общего пользования предназначена для возмездного оказания услуг электросвязи любому пользователю услугами связи на территории Российской Федерации и включает в себя сети электросвязи, определяемые географически в пределах обслуживаемой территории и ресурса нумерации и не определяемые географически в пределах территории Российской Федерации и ресурса нумерации, а также сети связи, определяемые по технологии реализации оказания услуг связи.

2. Сеть связи общего пользования представляет собой комплекс взаимодействующих сетей электросвязи, в том числе сети связи для трансляции телеканалов и (или) радиоканалов.

Сеть связи общего пользования имеет присоединение к сетям связи общего пользования иностранных государств.

Статья 14. Выделенные сети связи

1. Выделенными сетями связи являются сети электросвязи, предназначенные для возмездного оказания услуг электросвязи ограниченному кругу пользователей или группам таких пользователей. Выделенные сети связи могут взаимодействовать между собой. Выделенные сети связи не имеют присоединения к сети связи общего пользования, а также к сетям связи общего пользования иностранных государств. Технологии и средства связи, применяемые для организации выделенных сетей связи, а также принципы их построения устанавливаются собственниками или иными владельцами этих сетей.

Выделенная сеть связи может быть присоединена к сети связи общего пользования с переводом в категорию сети связи общего пользования, если выделенная сеть связи соответствует требованиям, установленным для сети связи общего пользования. При этом выделенный ресурс нумерации изымается и предоставляется ресурс нумерации из ресурса нумерации сети связи общего пользования.

2. Оказание услуг связи операторами выделенных сетей связи осуществляется на основании соответствующих лицензий в пределах указанных в них территорий и с использованием нумерации, присвоенной каждой выделенной сети связи в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти в области связи.

Статья 15. Технологические сети связи

1. Технологические сети связи предназначены для обеспечения производственной деятельности организаций, управления технологическими процессами в производстве.

Технологии и средства связи, применяемые для создания технологических сетей связи, а также принципы их построения устанавливаются собственниками или иными владельцами этих сетей.

2. При наличии свободных ресурсов технологической сети связи часть этой сети может быть присоединена к сети связи общего пользования с переводом в категорию сети связи общего пользования для возмездного оказания услуг связи любому пользователю на основании соответствующей лицензии. Такое присоединение допускается, если:

часть технологической сети связи, предназначенная для присоединения к сети связи общего пользования, может быть технически, или программно, или физически отделена собственником от технологической сети связи;

присоединяемая к сети связи общего пользования часть технологической сети связи соответствует требованиям функционирования сети связи общего пользования.

Части технологической сети связи, присоединенной к сети связи общего пользования, выделяется ресурс нумерации из ресурса нумерации сети связи общего пользования в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти в области связи.

Собственник или иной владелец технологической сети связи после присоединения части этой сети связи к сети связи общего пользования обязан вести отдельный учет расходов на эксплуатацию технологической сети связи и ее части, присоединенной к сети связи общего пользования.

Технологические сети связи могут быть присоединены к технологическим сетям связи иностранных организаций только для обеспечения единого технологического цикла.

Статья 16. Сети связи специального назначения

1. Сети связи специального назначения предназначены для нужд органов государственной власти, нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка. Эти сети не могут использоваться для возмездного оказания услуг связи, услуг присоединения и услуг по пропуску трафика, если иное не предусмотрено законодательством Российской Федерации.

2. Связь для нужд органов государственной власти, нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка осуществляется в порядке, определенном законодательством Российской Федерации, ее обеспечение является расходным обязательством Российской Федерации.

3. Подготовка и использование ресурсов единой сети электросвязи Российской Федерации для обеспечения функционирования сетей связи специального назначения осуществляются в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

3.1. Сети связи специального назначения могут быть присоединены к сети связи общего пользования без перевода в категорию сети связи общего пользования.

Владельцу сети связи специального назначения может быть выделен ресурс нумерации из ресурса нумерации сети связи общего пользования.

В случае присоединения сетей связи специального назначения к сети связи общего пользования на основании указанного в пункте 1 статьи 18 настоящего Федерального закона договора стороны такого договора обеспечивают пропуск трафика по указанным сетям связи в рамках исполнения такого договора с учетом ограничения использования сетей связи специального назначения, указанного в пункте 1 настоящей статьи.

4. Центры управления сетями связи специального назначения обеспечивают их взаимодействие с другими сетями единой сети электросвязи Российской Федерации в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти в области связи.

Статья 17. Сеть почтовой связи

1. Сеть почтовой связи представляет собой совокупность объектов почтовой связи и почтовых маршрутов операторов почтовой связи, обеспечивающих прием, обработку, перевозку (передачу), доставку (вручение) почтовых отправлений, а также осуществление почтовых переводов денежных средств.

2. Отношения в области почтовой связи регулируются международными договорами Российской Федерации, настоящим Федеральным законом и федеральным законом о почтовой связи, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации. [1]

2 Варианты построения проводных и беспроводных сетей связи

2.1 Требования к построению телефонной сети связи общего пользования

2.1.1 Общие требования

1. Узлы связи и точки присоединения, входящие в состав телефонной сети связи общего пользования, размещаются на территории Российской Федерации.

Указанное требование не распространяется на точки присоединения, используемые для организации присоединения сетей междугородной и международной телефонной связи к сетям связи других государств.

2. Средства связи, входящие в состав телефонной сети связи общего пользования, соединяются между собой линиями связи, в том числе с использованием оборудования коммутации и маршрутизации пакетов информации, сети (сетей) передачи данных.

3. Построение телефонной сети связи общего пользования может осуществляться с использованием узлов связи, средства связи которых территориально удалены друг от друга, в том числе располагаются на территории различных муниципальных образований или различных субъектов Российской Федерации.

Требования в части размещения узла связи считаются выполненными при наличии в соответствующем муниципальном образовании или субъекте Российской Федерации средства связи (шлюза), управляемого узлом связи.

4. Допускается построение комбинированного узла связи, средства связи которого совмещают функции оборудования систем коммутации узлов сетей фиксированной (междугородной и международной, зонной, местной) телефонной связи или узлов сетей подвижной радиотелефонной связи и (или) узла (узлов) сетей фиксированной (междугородной и международной, зонной, местной) телефонной связи.

5. Допускается построение сети связи с использованием средств связи другой сети связи, а также совместное использование средств связи операторами связи по договорам между операторами связи с разграничением зон ответственности.

6. В целях обеспечения бесперебойного функционирования средств связи, входящих в состав узлов связи, точек присоединения сети связи, базовых станций фиксированного абонентского доступа, а также базовых станций сети подвижной радиотелефонной связи и сети подвижной радиосвязи, используются резервные автономные источники питания, обеспечивающие при нарушении внешнего электроснабжения функционирование указанных средств связи в составе сети связи не менее 4 часов при нагрузке, соответствующей часу наибольшей нагрузки.

2.1.2 Требования к построению сети междугородной и международной телефонной связи

7. Транзитные международные узлы связи размещаются не менее чем в двух федеральных округах европейской части и не менее чем в двух федеральных округах азиатской части Российской Федерации.

8. Все транзитные международные узлы связи являются смежными.

9. Каждый транзитный международный узел связи является смежным с узлом (узлами) связи сети связи иностранного государства.

10. В каждом федеральном округе размещается транзитный междугородный узел связи, связанный линиями связи, не использующими общие линии передачи и физические цепи (далее - независимые линии связи), не менее чем с двумя транзитными международными узлами связи и являющийся смежным с шестью (по одному из каждого федерального округа) транзитными междугородными узлами связи. В пределах территории, включающей Южный федеральный округ, Северо-Кавказский федеральный округ и Крымский федеральный округ, допускается размещать один такой узел связи.

11. В случае наличия в одном федеральном округе двух и более транзитных междугородных узлов связи каждый из них связывается независимыми линиями связи не менее чем с двумя транзитными междугородными узлами связи, один из которых размещается в другом федеральном округе.

12. Точки присоединения размещаются в каждом субъекте Российской Федерации.

13. Сеть связи имеет присоединение ко всем сетям фиксированной зоной телефонной связи.

2.1.3 Требования к построению сети фиксированной зоной телефонной связи

14. Узлы связи размещаются в пределах территории одного субъекта Российской Федерации (города федерального значения).

Допускается использование одного узла связи на территории двух субъектов Российской Федерации:

г. Москвы и Московской области;

г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области;

Ненецкого автономного округа и Архангельской области;

г. Севастополя и Республики Крым.

15. Все узлы связи в пределах территории одного субъекта Российской Федерации являются смежными.

16. Не менее двух линий связи, связывающих узел связи с другими узлами связи сети фиксированной зоной телефонной связи одного оператора связи, являются независимыми линиями связи.

17. Точки присоединения размещаются:

1) в каждом муниципальном районе субъекта Российской Федерации, за исключением случаев, когда сеть связи функционирует на территории г. Москвы, г. Санкт-Петербурга или г. Севастополя;

2) в пределах единой сети местной телефонной связи г. Москвы в случае, когда сеть связи функционирует на территории г. Москвы;

3) в пределах г. Санкт-Петербурга в случае, когда сеть связи функционирует на территории г. Санкт-Петербурга;

4) в пределах г. Севастополя в случае, когда сеть связи функционирует на территории г. Севастополя.

18. Точка присоединения соединяется с одним из узлов связи сети фиксированной зоной связи, размещенных в одном с данной точкой присоединения субъекте Российской Федерации, либо входит в состав одного из указанных узлов связи с учетом требований абзацев второго - пятого пункта 14 настоящих Требований.

19. Сеть связи имеет присоединение ко всем сетям междугородной и международной телефонной связи.

2.1.4 Требования к построению сети подвижной радиосвязи и сети подвижной радиотелефонной связи

20. Точки присоединения размещаются на территории каждого субъекта Российской Федерации, на территории которого функционирует сеть связи.

Допускается размещение одной точки присоединения на территории двух субъектов Российской Федерации:

г. Москвы и Московской области;

г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области;

Ненецкого автономного округа и Архангельской области;

г. Севастополя и Республики Крым.

21. Сеть связи в каждом из субъектов Российской Федерации, в которых она функционирует, имеет присоединение к сети (сетям) фиксированной зоной телефонной связи.

Допускается использование единого присоединения на территории двух субъектов Российской Федерации:

г. Москвы и Московской области;

г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области;

Ненецкого автономного округа и Архангельской области;

г. Севастополя и Республики Крым.

21.1. При использовании в сети связи комбинированного узла связи, выполняющего, в том числе функции узла связи сети междугородной и международной телефонной связи, средства связи, образующие данный комбинированный узел связи,

могут располагаться не во всех субъектах Российской Федерации, в которых функционирует сеть связи.

22. Сеть связи имеет присоединение к сети (сетям) междугородной и международной телефонной связи.

Требования настоящего пункта не применяются к сети связи, обеспечивающей функционирование системы экстренного реагирования при авариях "ЭРА-ГЛОНАСС".

23. Требования пунктов 20, 21, 22 не применяются к сетям связи операторов связи, реализующих бизнес-модель виртуальных сетей подвижной радиотелефонной связи с использованием элементов сети связи других операторов связи.

24. Не менее одного узла связи соединяется с узлом обслуживания вызовов экстренных оперативных служб, расположенным в каждом поселении, являющемся административным центром субъекта Российской Федерации, на территории которого функционирует сеть связи, либо с узлом связи, имеющим соединение с данным узлом обслуживания вызовов экстренных оперативных служб.

24.1. Для обеспечения соединения пользовательского (оконечного) оборудования с узлом связи сети подвижной радиосвязи и сети подвижной радиотелефонной связи допускается использование оборудования коммутации и маршрутизации пакетов информации, сети (сетей) передачи данных.

2.1.5 Требования к построению сети подвижной спутниковой радиосвязи

25. Не менее одного узла связи сети подвижной спутниковой радиосвязи, включающего земную станцию спутниковой связи и выполняющую функции станции сопряжения, размещается в пределах территории Российской Федерации.

26. В случае наличия в пределах территории Российской Федерации двух и более узлов связи с функцией станции сопряжения все они являются смежными.

27. Не менее двух линий связи, связывающих узел связи с функцией станции сопряжения с узлами связи, выполняющими аналогичные функции одной сети подвижной спутниковой радиосвязи, являются независимыми.

28. Точка (точки) присоединения размещаются в пределах территории Российской Федерации.

29. Сеть связи имеет присоединение не менее чем к двум сетям междугородной и международной телефонной связи.

30. Не менее одного узла связи с функцией станции сопряжения соединяется с узлом обслуживания вызовов экстренных оперативных служб.

2.1.6 Требования к построению сети местной телефонной связи

31. Узлы связи размещаются в пределах территории муниципального образования, являющегося городским или сельским поселением, муниципальным районом, городским округом, либо города федерального значения.

В случае присоединения сети связи к сети (сетям) фиксированной телефонной связи исключительно с использованием спутниковых линий связи, узел связи этой сети, соединяющейся спутниковой линией связи с пользовательским (оконечным) оборудованием, размещается в другом муниципальном образовании того же субъекта Российской Федерации.

Допускается территориально-распределенные узлы связи размещать в пределах территории нескольких муниципальных образований, находящихся в границах одного субъекта Российской Федерации.

При использовании в сети связи комбинированного узла связи, выполняющего, в том числе функции узла связи сети фиксированной зонавой телефонной связи, средства связи, образующие данный комбинированный узел связи, могут располагаться не во всех муниципальных образованиях при условии, что пользовательское (оконечное) оборудование подключено к узлу связи, функционирующему в пределах того же субъекта Российской Федерации.

32. Сеть связи имеет присоединение к сети (сетям) фиксированной зонавой телефонной связи и (или) имеющей присоединение к сети (сетям) фиксированной зонавой телефонной связи другой сети местной телефонной связи, функционирующей в пределах одного и того же муниципального образования, являющегося городским или сельским поселением, муниципальным районом, городским округом, либо города федерального значения.

33. Точки присоединения размещаются в каждом муниципальном образовании, на территории которого функционирует сеть местной телефонной связи.

34. Точка присоединения соединяется с одним из узлов связи сети местной телефонной связи, обслуживающим муниципальное образование, в котором размещается точка присоединения, либо входит в состав одного из указанных узлов связи.

35. Не менее одного узла связи соединяется с узлом обслуживания вызовов экстренных оперативных служб, который находится на территории города федерального значения, городского округа или муниципального района, на территории которого функционирует сеть местной телефонной связи, либо с узлом связи, имеющим соединение с данным узлом обслуживания вызовов экстренных оперативных служб.

36. Для организации линий связи между пользовательским (оконечным) оборудованием и узлом связи сети местной телефонной связи допускается использование оборудования коммутации и маршрутизации пакетов информации, сети (сетей) передачи данных, обслуживающих муниципальное образование, являющееся городским или сельским поселением, муниципальным районом, городским округом, городским округом с внутригородским делением внутригородским районом либо внутригородской территорией города федерального значения, в котором размещено пользовательское (оконечное) оборудование. [3]

2.2 Варианты построения проводных и беспроводных сетей связи

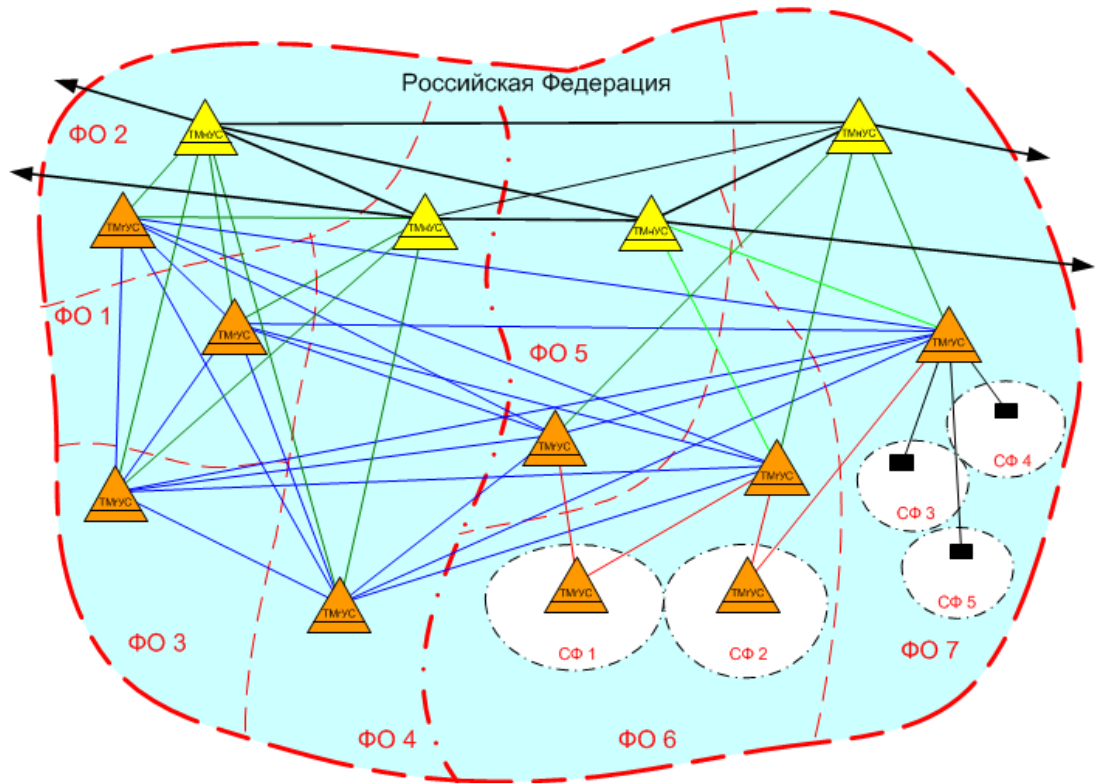


Рисунок 1.1 - Сети междугородной и международной телефонной связи

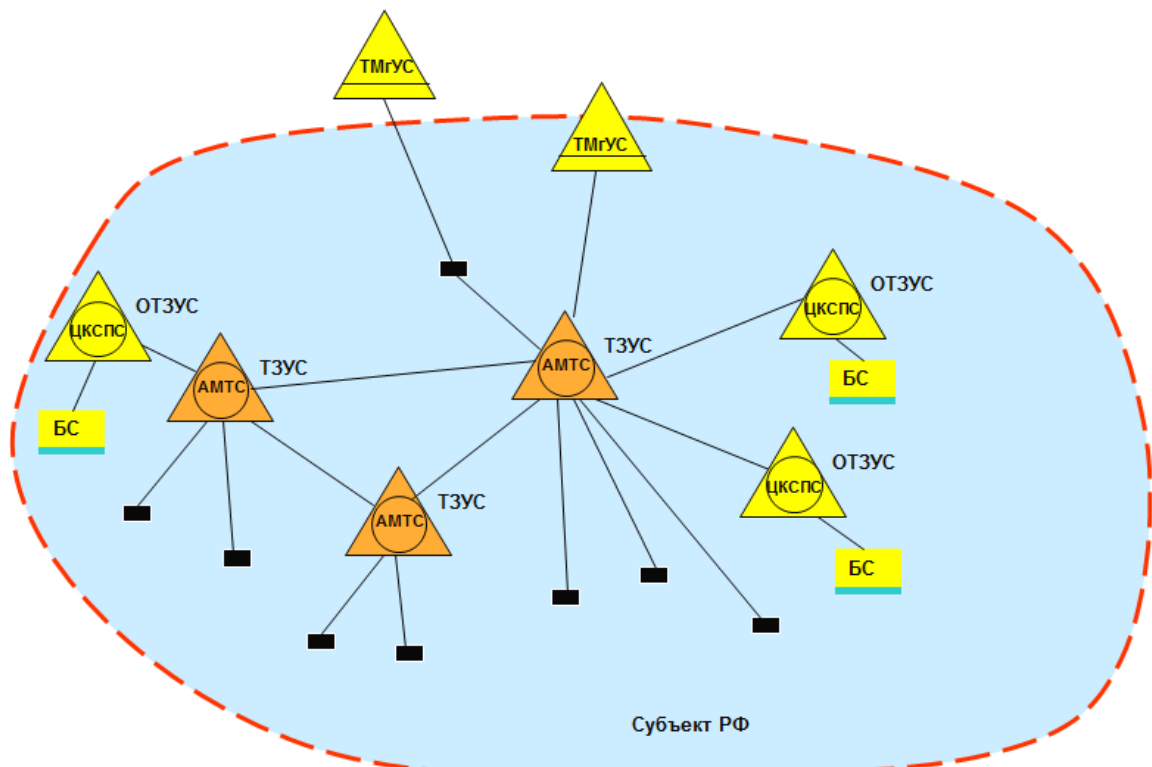


Рисунок 1.2 - Сеть фиксированной зонавой телефонной связи

Отчет по работе:

- тема, цель занятия;
- краткие теоретические сведения;
- структурные схемы проводных и беспроводных сетей связи конфигурировании системы;

Результаты проверки работоспособности внутренней связи.

Контрольные вопросы:

1. Основные этапы развития сети электросвязи РФ?
2. Нормирование участков сети электросвязи.
3. Состав сети электросвязи РФ.
4. Назначение и состав проводных сетей связи.
5. Назначение и состав беспроводных сетей связи.
6. Общая характеристика структур сетей электросвязи.
7. Услуги связи.

Практическое занятие № 2

Тема: Оконечные устройства телефонных сетей общего пользования

Цель ПЗ: Изучить устройства применяемые на абонентском доступе

Учебные вопросы:

1. Краткие теоретические сведения
2. Устройство телефонного аппарата
3. Расчет времени набора номера в различных режимах

1 Краткие теоретические сведения

Труды физиков в области электричества подготовили почву для создания устройств и методов передачи сообщений при помощи электрических сигналов. Телефонный аппарат стал логическим продолжением телеграфного аппарата, он качественно превзошел его и позволил: преобразовать человеческий голос в электрический сигнал, передать его на значительное расстояние по проводам и восстановить нормальное звучание голоса на приемном конце линии.

Телефонный аппарат был создан американцами Александром Беллом и Элайши Грейсом независимо друг от друга в 1876 году. Однако первенство принадлежит Беллу, поскольку он на несколько часов раньше запатентовал устройство, которое получило название телефонного аппарата (ТА).

Многие десятилетия в обществе использовался ТА с дисковым номеронабирателем и угольным микрофоном. Такой аппарат состоял из трех основных частей: а) разговорной части с микрофоном и телефонным капсюлем, объединенных в телефонную трубку;

б) вращающего диска для набора телефонного номера;

в) звонковой части.

Основными элементами разговорной части является микрофон, телефонный капсюль (или просто телефон) и противоместная схема. Наиболее широкое распространение в мире получил угольный микрофон. Основанием для такой популярности были его простота, высокая чувствительность и пассивность. Однако угольный микрофон недостаточно стабилен и имеет невысокую надежность, т.к. угольный порошок может слипаться, и подвержен эффекту старения. Характерным является большой уровень нелинейных частотных искажений. В качестве телефонов используются электромагнитные

преобразователи. Чтобы сигнал микрофона не был слышен говорящему по ТА, используют противоместную схему.

В 1970 году была изобретена новая система набора номера. Она сделала процесс набора номера более надежным и оперативным. В этой системе цифры передаются двумя частотами (тонами) одновременно. Используются две группы частот нижняя (697, 770, 852,941 Гц) и верхняя (1209, 1336, 1477, 1633 Гц) при этом цифра определяется одним тоном из верхней частотной группы и одним - из нижней. Всего существует 16 возможных комбинаций.

По ранее принятой классификации (ГОСТ 7153-85) ТА подразделяются на четыре класса сложности. Высшим классом является нулевой, к которому относятся многофункциональные аппараты, к первому классу относятся ТА с дополнительными функциями, ко второму - ТА с электронным номеронабирателем (НН) и электрическим приемником вызова. Аппараты первых трех классов должны иметь не угольные микрофоны. ТА третьего класса - это аппарат с угольным микрофоном, электромеханическим звонком и дисковыми НН.

ТА характеризуются параметрами, которые разбиты на четыре группы. К первой группе относят телефонметрические параметры, а именно:

- эквивалент затухания передачи;
- эквивалент затухания приема;
- эквивалент затухания местного эффекта;
- слоговая разборчивость.

Ко второй группе относятся электроакустические параметры:

- диапазон изменения коэффициента приема $K_{ПР}$;
- уровень звукового давления, развиваемого телефоном при абсолютном уровне напряжения на входе аппарата 26 дБ;
- коэффициент гармоник на передачу;
- коэффициент от линейности АХЧ передачи;
- уровень вызывного акустического сигнала 65 дБ (А).

Следующую группу составляют электрические параметры:

- напряжение собственного шума;
- модуль входного электрического сопротивления в различных режимах;
- электрическое сопротивление постоянному току в режиме набора номера импульсным способом;
- сила постоянного тока, потребляемого ТА в основных режимах;
- время разрыва шлейфа;

- значность программируемого набора номера.

К последней, четвертой группе относятся временные параметры набора номера для ТА с импульсным способом набора. Такими параметрами являются:

- период следования импульсов в серии;
- импульсный коэффициент;
- пауза между двумя сериями импульсов;
- программируемая пауза между двумя сериями импульсов.

В настоящее время все больше применение находят телефонные аппараты с кнопочными номеронабирателями и имеющими расширенные сервисные возможности.

2 Устройство телефонного аппарата

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 как 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. Наиболее широко используют микрофонные капсулы типов МК-10, МК-16, обладающие достаточно высокой чувствительностью (в описываемых устройствах применены в основном угольные микрофоны). На принципиальных схемах микрофон обозначают латинскими буквами ВМ. Следует отметить, что в последнее время ряд телефонных аппаратов оснащают также конденсаторными микрофонами типов МКЭ-3, КМ-4, КМ-7.

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 микротелефонной трубке.

Вызывное устройство служит для преобразования вызывного сигнала переменного тока в звуковой сигнал. Применяют электромагнитные или электронные вызывные устройства. Первое из них представляет собой одно- или двухкатушечный звонок. Звуковой сигнал 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. Сопротивление обмоток звонка постоянному току составляет 1,5...3 кОм, рабочее напряжение 30...50 В. На принципиальных схемах звонок обозначают латинскими буквами НА.

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. В телефонных аппаратах применяют разделительные конденсаторы типов МБМ, К73-П емкостью 0,25...1 мкф и на номинальное напряжение 160...250 В.

Номеронабиратель обеспечивает подачу импульсов набора номера в абонентскую линию с целью установления требуемого соединения. Импульсы служат для периодических замыкание и размыкание 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.

Электронные номеронабиратели, которыми комплектуются многие современные телефонные аппараты (например, ТА-5, ТА-7, ТА-101), 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 схемных решений противоместного устройства мостового типа (рисунок 2.1).

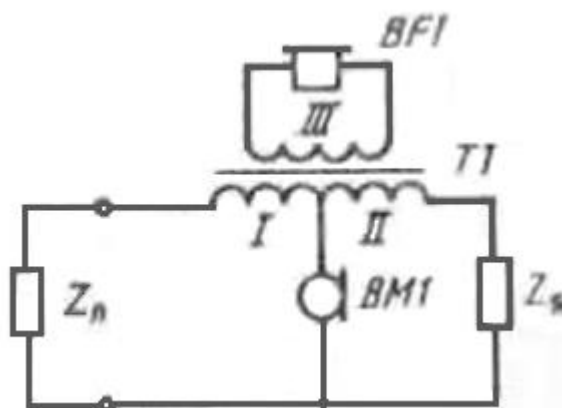


Рисунок 2.1 - Противоместная схема мостового типа

Микрофон BM , телефон $BF1$, балансный контур $Zб$ 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 $Zб$, 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.

Схема телефонного аппарата $ТА-72М-5$ предназначенного для работы в городских

сетях представлена на рисунок 2.2. 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.

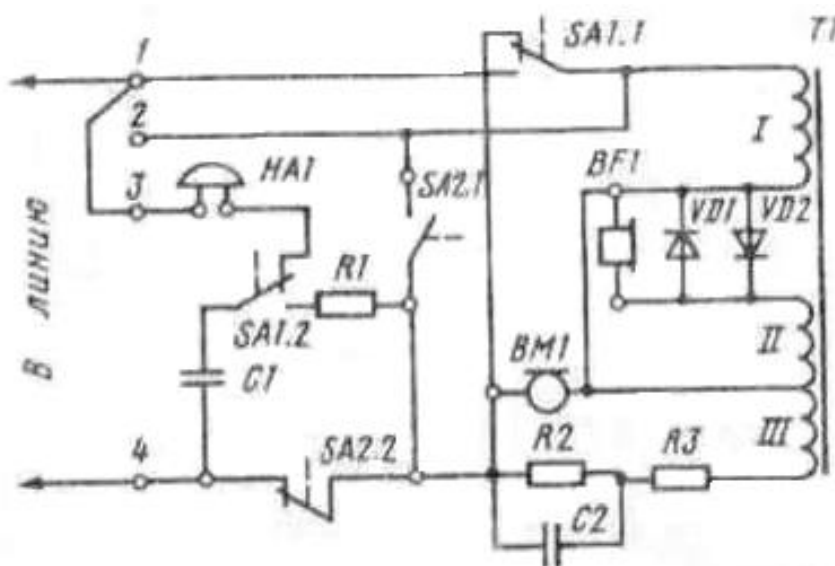


Рисунок 2.2 - Схема телефонного аппарата ТА-72М-5

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.

Дисковый номеронабиратель (НН) представляет собой механическое устройство (рисунок 2.3) состоящее из заводного диска 1 с отверстиями и неподвижного диска 2, на котором нанесены цифры 1,2,...,9,0 под соответствующими отверстиями дисками 1. На оси диска 1 укреплены конец вращающейся спиральной пружины 3, сегмент 5 для переключения контактных пружин 1...5 и шестеренка 6. На второй оси 9 размещена шестеренка 7 с собачкой, храповое колесо 8, шестеренка 10 и импульсная звездочка 12, служащая для размыкания контактных пружин 6 и 7. Шестеренка 10 служит для передачи вращения центробежному регулятору скорости 11.

При повороте диска заводится пружина 3, ось 9 при этом остается неподвижной, так как собачка скользит по зубцам храпового колеса, скрепленного осью 9. После того как абонент, доведя палец с диском 1 до упора 13, отпустит диск, последний под действием пружины 3 возвращается в исходное положение. При этом приходит в движение ось 9, так как теперь собачка упирается в зубцы храпового колеса. Центробежный регулятор обеспечивает постоянство скорости вращения оси. Звездочка 12 при вращении вместе с осью попеременно размыкает и замыкает контактные пружины 6 и 7 номеронабирателя.

При обратном ходе диска звездочка производит на два размыкания больше чем набранная абонентом цифра. Два последних размыкания шунтируются пружинами 4-5 номеронабирателя, которые размыкаются при заводе диска и замыкаются после создания нужного числа размыканий, что достигается при помощи сегмента 5. Таким образом, интервал времени (межсерийное время) между двумя последовательными наборами цифр удлиняется и составляет примерно 700 мс и обеспечивается устойчивая работа коммутационных приборов АТС.

Для шунтирования во время набора номера схемы разговорной части ТА, и обмотки телефона в номеронабирателе предусмотрены шунтирующие контакты 3-4 и 1-2, которые исключают влияние реактивных элементов схемы ТА на работу импульсного реле АТС. Контакты 1-2 замыкаются несколько раньше, чем 3-4, а размыкаются несколько позже, что исключает влияние на телефон нестационарных процессов, возникающих при шунтировании и снятии шунта схемы ТА.

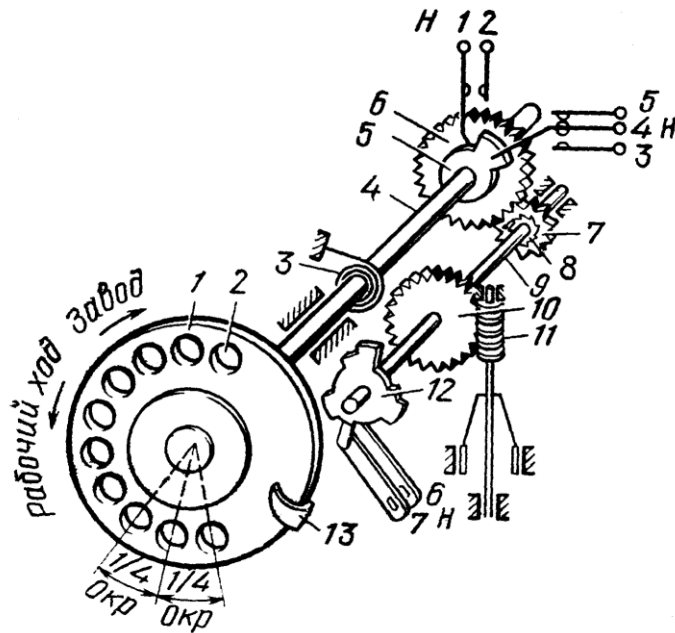


Рисунок 2.3 - Дисковый номеронабиратель

Для правильной работы АТС дисковый НН должен обеспечивать стабильность частоты посылки импульсов и постоянное соотношение между временем размыкания t_p , и временем замыкания t_z , абонентского шлейфа. Во всех системах дисковых НН частота посылки импульсов равна 10 импульсов в секунду с колебаниями $\pm 10\%$. Отношение времени размыкания ко времени замыкания импульсных контактов называется импульсным коэффициентом $K_u = t_p/t_z$.

Для дисковых НН импульсный коэффициент принят равным $K_u = 1,6$ ($t_p \approx 61,5$ мс и $t_z \approx 38,5$ мс) с допустимыми отклонениями от 1,4 до 1,7.

Межсерийное время позволяет приборам АТС отделять одну набираемую цифру от другой.

Минимальное межсерийное время составляет 180мс. Кнопочный НН реализуется на основе интегральных микросхем. Номеронабиратель может быть реализован по различным вариантам. Возможно, его использование для набора номера только импульсным способом или он имеет возможность набора как импульсным, так и тональным способом.

Тональная система набора номера была изобретена в 1940 году и имела целью - сделать процесс набора номера более надежным и быстрым. В этой системе цифры передаются двумя частотами (тонами) одновременно. Ей дано название DTMF (Dual-Tone Multi-Frequency).

На рисунке 2.4 показана временная диаграмма импульсного набора двухзначного

номера 32.

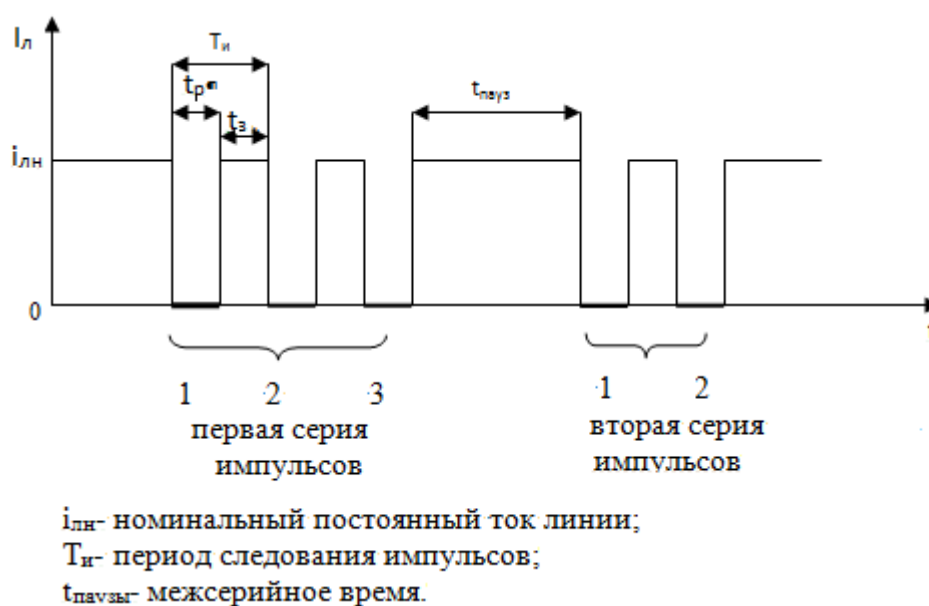


Рисунок 2.4 - Импульсный набор номера 32

Тональные частоты выбраны таким образом, чтобы избежать гармонических помех от речевых сигналов. В системе DTMF применено восемь частот: четыре в нижней частотной группе (697...941 Гц) и четыре в верхней - (1209...1633 Гц). Набранная цифра определяется одним тоном из верхней частотной группы и одним из нижней группы.

Всего существует 16 возможных комбинаций (таблица 2.1). Чаще всего используются комбинации для цифр 0,1,...,9 и символов *, #. В некоторых системах могут быть задействованы все 16 комбинаций. Длительность двухчастотной посылки должна быть не менее 40 мс, а паузы - не менее 25 мс.

Таблица 2.1 - Соответствие пар частот кнопкам набора номера на полной клавиатуре ТА

Нижняя частотная группа, Гц	Верхняя частотная группа, Гц			
	1209	1336	1477	1633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

Максимальная скорость набора номера в системе частотного набора составляет 7 цифр в секунду. Для сравнения в импульсной системе набора номера скорость составляет

0,8 цифры в секунду. Преимущество системы DTMF по скорости набора почти десятикратное! Сигнал DTMF в телефонной линии имеет вид, представленный на рисунке 2.5.

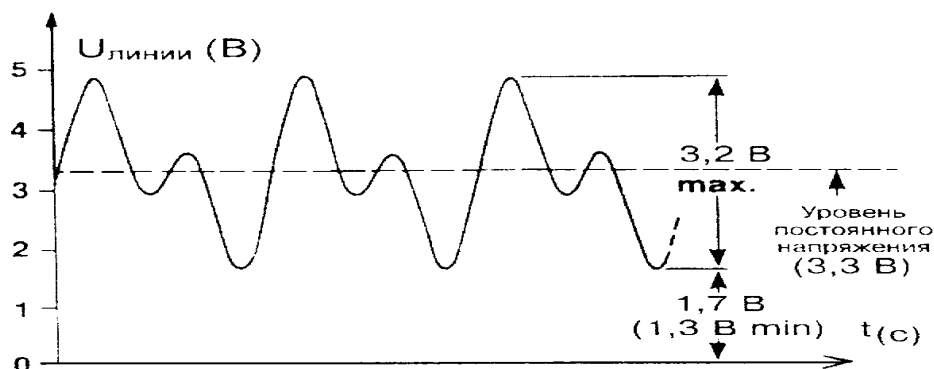


Рисунок 2.5 - Временной график сигнала частотного набора в телефонной линии

Для генерирования тонов частотного набора использовались два перестраиваемых генератора. Один из них - для нижней частотной группы, другой - для верхней частотной группы. Требования к стабильности генерируемых частот очень жесткое (обычно $\pm 1,5\%$ от диапазона), поэтому первые LC - генераторы содержали тяжёлую дорогостоящую катушку индуктивности.

В 1974 году появилась IC технология, на рынок выпустили полупроводниковые генераторы и два синтезатора. Они генерировали DTMF тона высокого для того времени качества.

Генератор давал стабильную частоту 3579 Гц, которая преобразовалась в DTMF частоты с небольшой погрешностью. Во многих странах также стали использовать дешевые 3,58 МГц керамические резонаторы.

Схемы первых ТА с тональным набором строились по принципу, показанному на рисунок 2.6. с отдельными узлами набора номера. В настоящее время созданы микросхемы, объединяющие в одном корпусе оба НН и схему управления типом набора. При этом была обеспечена возможность оперативного перехода от импульсного способа набора к тотальному без принудительного переключения типа набора, установленного в ТА. Обычно это достигается нажатием кнопки «*» на клавиатуре. На многих моделях ТА кнопка имеет подпись TONE.

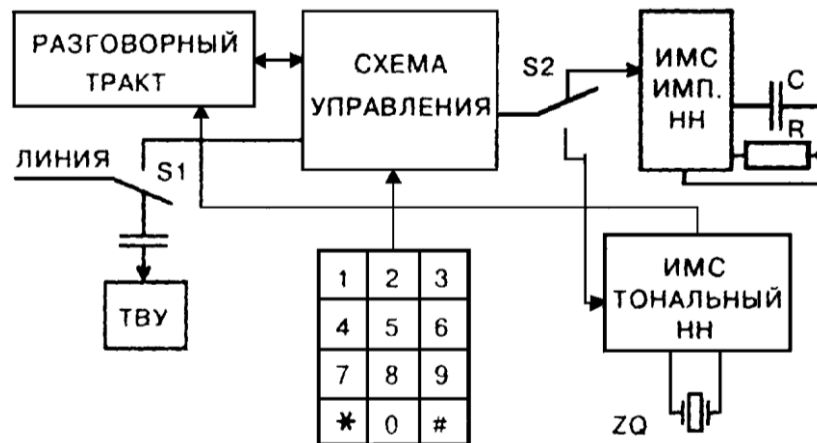


Рисунок 2.6 - Функциональная схема ТА с отдельными ИМС для импульсного и тонального набора номера

Такая процедура перехода от импульсного к тональному набору создает возможность набора дополнительного номера учрежденческой станции, пользования голосовой почтой, дистанционного управления автоответчиком и передачи данных при связи, например, с банковским терминалом. Автоматический возврат к импульсному способу набора номера осуществляется процедурой «отбой», независимо от того, как она была осуществлена, укладыванием микрофонной трубки на ТА или нажатием специальной кнопки.

3. Расчет времени набора номера в различных режимах

В соответствии с материалом, изложенным выше рассчитать время набора номера для местной, междугородной и международной связи по вариантам (таблице 2.2).

Таблица 2.2 – Телефонные номера абонентов для организации связи

№ Варианта	1	2	3	4	5	6
Набираемый номер	314-21-24	213-41-11	794-21-84	813-49-13	514-60-94	410-40-09
№ Варианта	7	8	9	10	11	12
Набираемый номер	600-99-798	789-54-23	567-89-22	908-41-34	456-83-94	290-41-10
№ Варианта	13	14	15	16	17	18
Набираемый номер	214-11-45	299-08-11	999-27-74	299-88-00	378-34-24	213-56-08
№ Варианта	19	20	21	22	23	24
Набираемый номер	814-12-45	291-08-41	929-87-54	209-88-90	678-35-29	203-96-08

После получения результатов провести анализ времени набора номера при различных режимах и видах связи.

Практическое занятие №3

Тема: Основные характеристики сигналов и каналов

Цель ПЗ: Изучить характеристики сигналов и каналов электросвязи

Учебные вопросы:

1. Краткие теоретические сведения.
2. Аналоговые сигналы.
3. Дискретные сигналы.
4. Представить графически сигнал электросвязи и определить его параметры.

1 Краткие теоретические сведения

По виду передачи информации все современные системы электросвязи условно классифицируются на предназначенные для передачи звука, видео, текста.

В зависимости от среды передачи выделяют электрическую, оптическую и радиосвязь.

В зависимости от назначения сообщений виды электросвязи могут быть квалифицированы на предназначенные для передачи информации индивидуального и массового характера. По временным параметрам виды электросвязи могут быть работающими в реальном времени либо осуществляющими отложенную доставку сообщений.

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

Основные характеристики сигналов электросвязи

Основные характеристики телефонных (речевых) сигналов. Человек набрал в легкие воздух и издал звук. Что же произошло? Воздух, выходя из легких, заставляет вибрировать голосовые связки. От них колебания воздуха передаются через гортань голосовому аппарату, заканчивающемуся ротовой и носовой полостями (рисунок 3.1).

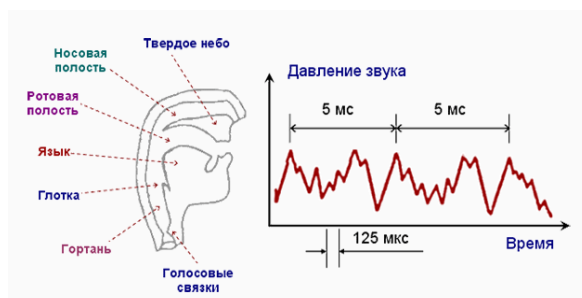


Рисунок 3.1 - Кривая звукового давления при произношении звука "а".

Последние выполняют роль резонатора – они усиливают колебания воздуха, подобно тому, как полый корпус гитары или скрипки, также являясь резонатором, усиливает звуки струн. Колебания воздуха из голосового аппарата человека передаются окружающему воздуху. Возникает звуковая волна. Характер издаваемого звука определяется натяжением голосовых связок, формой ротовой полости, положением языка, губ и т.д.

Из описания голосового аппарата человека нетрудно понять, что голосовые связки играют роль своеобразных струн, они создают основной тон и обильное количество обертонов. Частота основного тона речи лежит в пределах от 50... 80 Гц (очень низкий голос – бас) до 200...250 Гц (женский и детский голоса). При разговоре частота основного тона меняется в значительных пределах, особенно при переходе от гласных звуков к согласным и наоборот.

В совместном звучании основной тон и обертоны создают соответствующую окраску звука или тембр. Один тембр отличается от другого числом и силой обертонов. При преобладании в человеческом голосе высоких обертонов над низкими мы слышим в нем "звучание металла". Люди, у которых в голосе преобладают низкие обертоны, говорят мягким, бархатным голосом.

Для получения формы кривой звукового давления, создаваемого речью человека, нужно сложить синусоидальные кривые основного тона и обертонов. Из-за наличия большого числа обертонов форма результирующей кривой будет сложной. На рис.1. показано, какое давление создает звук "а", произнесенный мужским голосом с частотой основного тона 200 Гц (период основного тона 5 мс). Для передачи звука на расстояние он в телефонном аппарате превращается в сигнал. Для этой цели служит микрофон.

Телефон был изобретен А. Г. Беллом, учителем в школе глухонемых в американском городе Бостоне в 1876 г. С тех пор в его конструкцию было внесено много усовершенствований. В частности, в современном телефоне используется чувствительный угольный микрофон (рисунок 3.2). В нем мембрана соприкасается с угольным порошком. Пока в микрофон не говорят, сопротивление порошка остается неизменным и через него от батареи в линию (провода) протекает постоянный ток. Стоит произнести в микрофон какое-нибудь слово, порошок под действием колеблющейся мембраны будет то спрессовываться, то разрыхляться. Изменение плотности порошка приводит к изменению его электрического сопротивления, а значит, и к изменению тока, текущего через порошок. В проводах, идущих от микрофона, рождается электрический ток, повторяющий форму

звукового давления.

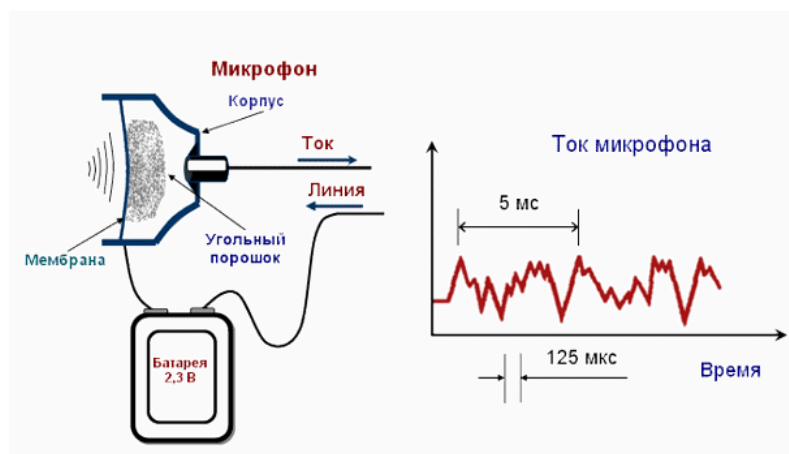


Рисунок 3.2 - Превращение звука в электрический сигнал с помощью микрофона

Изучение речи показывает, что речь – это процесс, частотный спектр которого находится в пределах от 50... 100 до 8000...10 000 Гц. Установлено, что качество речи остается вполне удовлетворительным, если ограничить спектр внизу и сверху частотами 300 и 3400 Гц. Эти частоты приняты Международным союзом электросвязи (МСЭ) в качестве границ эффективного спектра речи. При указанной полосе частот сохраняется хорошая разборчивость речи и удовлетворительная натуральность ее звучания.

На рисунок 3.3 показан спектр речи. Как видно из рисунка, некоторые частотные составляющие речи усилены, а другие ослаблены. Усиленные области спектра частот называются формантами. Звуки речи различных людей отличаются числом формант и их расположением в частотном спектре. Отдельные звуки могут иметь до шести формант, из которых только одна или две являются определяющими. Они обязательно находятся в диапазоне частот 300...3400 Гц. Между формантами лежат менее мощные составляющие звуковых частот. Однако именно они придают голосу каждого человека индивидуальность, позволяющую узнать говорящего.



Рисунок 3.3 - Спектр человеческой речи

Сигналы звукового вещания. Источниками звука при передаче программ вещания обычно являются музыкальные инструменты или голос человека. Формирование сигналов звукового вещания и их прием осуществляются так же, как и телефонных сигналов. Используются лишь другие типы микрофонов.

Спектр звукового сигнала занимает полосу частот 20...20 000 Гц. Однако в зависимости от требований к качеству воспроизведения ширина спектра сигнала вещания может быть ограничена. Для достаточно высокого качества (каналы вещания первого класса) полоса частот должна составлять 50...10 000 Гц, для безукоризненного воспроизведения программ вещания (каналы высокого класса) – 30...15 000 Гц.

Основные характеристики факсимильных сигналов. Если обратить внимание на то, как вы читаете книгу, то можно сделать вывод, что глаза скользят по строке слева направо, затем вы переходите к началу другой строки и т.д. до конца страницы. Словом, вы "просматриваете" все элементы строки последовательно. Можно сказать, что при чтении книги происходит построчная развертка текстового изображения.

Именно по такому принципу "просматривается" изображение в современных факсимильных аппаратах, предназначенных для передачи на расстояние различного рода неподвижных изображений (документов, чертежей, рисунков, фотографий). Для этого с помощью источника света и системы оптических линз формируют световое пятно так, чтобы освещать на передаваемом изображении площадку размером, скажем, 0,2 x 0,2 мм. Это световое пятно перемещается сначала вдоль одной строки, затем переходит на другую и движется по ней – и так до конца последней строки. Свет, отражаясь от каждой элементарной площадки, попадает на фотоэлемент и вызывает в его цепи ток (рис.4). Значение этого тока зависит от яркости отраженного света, а последняя – от яркости освещенной площадки. Таким образом, при переходе светового пятна на изображении от одной элементарной площадки к другой ток в цепи фотоэлемента меняется пропорционально яркости площадок: мы получаем точную электрическую копию изображения.

Рассмотрим изображение, состоящее только из двух цветов: черного и белого, например, страницу книги, какой-либо чертеж и т.п. Очевидно, каждый элемент изображения (напомним, что размером он всего 0,2 x 0,2 мм) будет представлять собой либо черную, либо белую площадку, напоминая чередованием шахматную доску. Черные площадки практически полностью поглощают падающий на них свет. Яркость отраженного ими света при этом настолько ничтожна, что при просмотре черных площадок ток в цепи фотоэлемента не возникает. Наоборот, площадки белого цвета почти полностью отражают падающий на них свет, и при попадании на них светового луча ток в

цепи фотоэлемента скачком принимает максимальное значение. Таким образом, перемещая световое пятно, а вслед за ним и фотоэлемент вдоль каждой строки изображения, получаем на выходе фотоэлемента последовательность импульсов (рисунок 3.4).

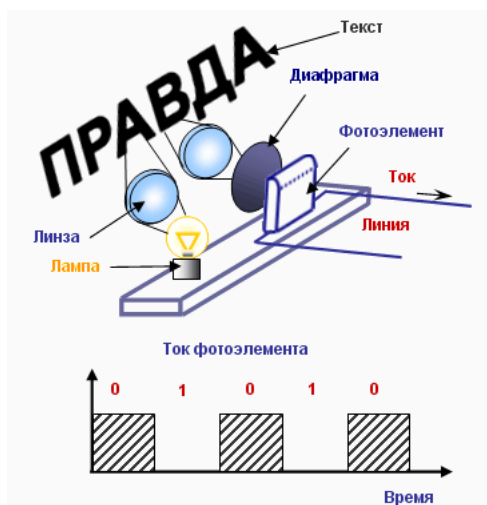


Рисунок 3.4 - Преобразование изображения в электрический сигнал в факсимильном аппарате

При таком "шахматном" чередовании элементов изображения спектр факсимильного сигнала будет шире, чем для любого другого изображения, поскольку круче фронтов импульсов, чем у прямоугольных, не бывает. Ширина спектра факсимильного сигнала зависит от скорости развертки изображения и размеров светового пятна.

На стандартном листе бумаги формата А4 в строке помещается примерно 1000 черно-белых элементов изображения ϕ ширине пятна 0,2 мм. Если в факсимильном аппарате скорость развертки составляет 60 строк/мин, т.е. каждая строчка считывается за 1 с, то за эту секунду 500 раз будет осуществлен переход с черного на белое, или наоборот. Это означает, что максимальная частота чередования импульсов равна 500 Гц. При ширине светового пятна 0,1 мм в строке будет в 2 раза больше элементов изображения, и максимальная частота чередования импульсов повысится до 1000 Гц. Так как для сохранения хорошей степени "прямоугольности" импульсов нужно передать кроме основной гармоники еще и несколько высших, то ширина спектра факсимильного сигнала может простираться до 1,5...3,0 кГц.

При увеличении скорости развертки изображения черные и белые площадки будут считываться чаще и, следовательно, спектр факсимильного сигнала будет шире. При передаче изображений с полутонами получается сигнал сложной формы, спектр которого является непрерывным и соединяет все частоты от нуля до максимальной.

Факсимильная связь широко используется для передачи газетных полос (т.е. их изображений) в пункты централизованного печатания. Для передачи газет применяются специальные высокоскоростные факсимильные аппараты с шириной светового пятна 0,05 мм. Повышенная скорость развертки позволяет передавать одну газетную полосу за 2–3 мин. Это приводит к расширению спектра факсимильного сигнала до 180 кГц.

Основные характеристики телевизионных сигналов. Любое подвижное изображение – это, как правило, смена через каждые 40 мс одного неподвижного изображения другим (25 кадров в 1 с). За время между сменой кадров нужно успеть просмотреть все неподвижное изображение, которое содержит полмиллиона элементарных площадок или элементов (625 строк по 833 элемента в строке). Значит, каждый элемент изображения придется рассматривать в течение одной полумиллионной доли от отведенных на весь кадр 40 мс. Это непостижимо короткий отрезок времени – всего две десятиллиардных доли секунды! Ясно, что ни одно механическое устройство не способно перемещать световое пятно и фотоэлемент по строкам изображения с такой скоростью. Что мы видим на экране телевизора. Изображение? Нет, в действительности на экране никакого изображения нет, абсолютно никакого! Если бы мы сумели открыть глаза на какую-то ничтожную долю секунды (а речь идет о миллионных и даже миллиардных долях), то увидели бы на экране всего одну светящуюся точку. Это она бежит с невероятной скоростью по экрану, оставляя в нашем глазу след (мы видим то, чего уже нет, еще в течение 0,1 с), изменяющийся по яркости.

Что же заставляет светящуюся точку перемещаться с такой головокружительной быстротой? Электронный луч. Это он способен почти мгновенно отклоняться под действием изменяющегося магнитного поля и развертывать "картинки". Это его можно очень точно сфокусировать с помощью специальных электрических "линз". Первые опыты с электронным лучом проводились в начале XX в. Еще в 1907 г. профессор Петербургского технологического института Б.Л. Розинг сконструировал первую электронно-лучевую трубку и получил на ней изображение, правда, невысокого качества. Изобретение в начале 30-х годов этого столетия первых качественных передающих трубок связано с именами советских ученых, пионеров отечественного телевидения С.И. Катаева и П.И. Шмакова.

Как бы ни отличались конструкции передающих телевизионных трубок разных лет, все они в чем-то имитируют глаз. Роль хрусталика выполняет объектив, роль зрачка – диафрагма. Имеется в трубке и своя "сетчатка" – пластинка, поминающая пчелиные соты, в ячейках которых располагаются микроскопические фотоэлементы. Конечно, их намного меньше, чем фоторецепторов в глазу: всего около 0,5 млн. Изображение, которое нужно превратить в серию электрических импульсов, проектируется с помощью объектива на эту

искусственную "сетчатку". Каждый микроскопический фотоэлемент (представляющий собой капельку светочувствительного серебряно-цезиевого сплава) получает свою порцию света и, если его подключить к внешней цепи, создает ток, пропорциональный освещенности. Что касается электронного луча, то он как раз и подключается поочередно каждый из 500 000 фотоэлементов к внешней цепи трубки, причем отводится ему на это всего 40 мс, пока не сменится кадр. Таким образом, на одном элементе изображения луч "задерживается" не более 80 миллиардных долей секунды (т.е. 80 нс). Величина тока во внешней цепи трубки отражает в каждый момент времени яркость соответствующего элемента изображения, спроектированного объективом на "сетчатку" передающей трубки, и является точной электронной копией передаваемого изображения.

На рисунке 3.5 показано устройство суперортика. Объектив проецирует изображение на фотокатод (ФК), который под действием света излучает фотоэлектроны. В сечении этого потока фотоэлектронов их количество распределено в соответствии с освещенностью фотокатода (это распределение называется электронным изображением). Фотоэлектроны под действием ускоряющего электрического поля, созданного ускоряющим электродом (УЭ), проходят сквозь сетку (С) и бомбардируют поверхность мишени (М) (стеклянная пленка толщиной 5...15 мкм). Вторичные электроны, выбитые из мишени фотоэлектронами, собираются сеткой, оставляя на этой стороне мишени потенциальный рельеф из положительных зарядов. Так как мишень тонкая, то на другой ее стороне также имеется этот рельеф. Электронный луч, созданный электронным прожектором (ЭП) и сфокусированный системой (Ф), пробегает под действием отклоняющей системы (ОС) по строкам мишени. При этом часть электронов луча переходит на мишень и нейтрализует ее положительный заряд. Благодаря действию замедляющего электрода (ЗЭ), электроны луча подходят к мишени с малой скоростью. Отдав часть своих электронов мишени, электронный луч поворачивает обратно, образуя обратный луч, который идет параллельно прямому в сторону электронного прожектора и попадает на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

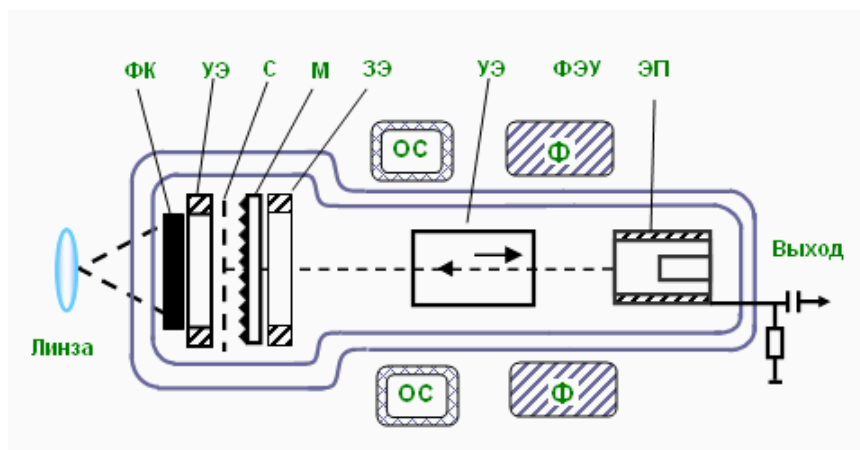


Рисунок 3.5 - Устройство передающей электронной трубки

Таким образом, ток обратного луча, снимаемый с суперорбитрона, меняется в зависимости от количества электронов, перешедших из луча на элементы мишени. А это, в свою очередь, зависит от числа вторичных элементов, выбитых из элемента мишени фотоэлектронами с фотокатода. Количество же фотоэлектронов, излучаемых каким-либо участком фотокатода, определяется освещенностью этого участка.

Подсчитаем ширину спектра телевизионного сигнала. Пусть в этот раз чередуются черные и белые площади (элементы). Всего таких элементов будет $625 \text{ (строк)} \times 833 \text{ (элемента)} = 520\,625$. В секунду меняется 25 кадров, т.е. $25 \times 520\,625 = 13\,015\,625$ элементов. Исходя из этого переход с черного на белое и наоборот происходит примерно 6 500 000 раз за 1 с. Максимальная частота повторения импульсов равна 6,5 мГц, что и принято за верхнюю границу ширины спектра телевизионного сигнала. Нижней границей считают 50 Гц (нижняя граница сигнала звукового сопровождения).

Во время смены строк и кадра развертывающий луч приемной трубки должен быть погашен. Кроме того, необходимо синхронизировать лучи приемной и передающей трубок. Таким образом, кроме сигнала изображения необходимо передавать вспомогательные управляющие импульсы (гасящие и синхронизирующие). Электрический сигнал, включающий в себя сигнал изображения и управляющие импульсы, называется полным телевизионным сигналом.

В системах цветного телевидения передаваемое изображение расчленяется с помощью светофильтров на три одноцветных изображения – красное, зеленое и синее. Красные, зеленые и синие лучи попадают каждый на свою телевизионную трубку. В приемном устройстве путем сложения трех одноцветных изображений воспроизводится передаваемое цветное изображение.

Таким образом, спектр телевизионного сигнала простирается от 50 Гц до 6,5 мГц.

Основные характеристики телеграфных сигналов и сигналов передачи данных. Все рассматриваемые до сих пор сообщения и сигналы являются непрерывными. Сообщения и

сигналы телеграфии и передачи данных относятся к дискретным. Устройства преобразования телеграфных сообщений и данных в электрический сигнал представляют каждый знак сообщения (букву, цифру) в виде определенной комбинации импульсов и пауз одинаковой длительности. Импульс соответствует наличию тока на выходе устройства преобразования (например, телеграфного аппарата), пауза – отсутствию тока.

В телеграфии таблица, которая ставит в соответствие буквам, цифрам и другим знакам комбинации импульсов и пауз, называется телеграфным кодом. Если обозначить импульс через 1, а паузу через 0 и воспользоваться международным телеграфным кодом МТК-2, то можно, например, знак А записать в виде 11 000, знак В – в виде 10011 и т.д. Для передачи данных используют более сложные коды, которые позволяют обнаруживать и исправлять ошибки в принятой комбинации импульсов, возникающие от действия помех.

Устройства преобразования сигналов телеграфии и передачи данных в сообщения по принятым комбинациям импульсов и пауз восстанавливают в соответствии с таблицей кода знаки сообщения (буквы, цифры и др.) и выдают их на печатающее устройство либо на экран дисплея.

Заметим, что чем меньше длительность импульсов, отображающих сообщения, тем больше их будет передано в единицу времени. Величина, обратная длительности импульса, называется скоростью телеграфирования: $V = 1/\tau_{и}$, где $\tau_{и}$ – длительность импульса, сек.

В честь французского инженера Ж. Бодо единицу скорости телеграфирования назвали бодом. При длительности импульса $\tau_{и} = 1$ с скорость $V = 1$ Бод. В телеграфии используются импульсы длительности 0,02 с, что соответствует стандартной скорости телеграфирования 50 Бод. Применяются и другие скорости телеграфирования (например, 75 Бод). Скорости передачи данных существенно выше. Есть аппаратура передачи данных со скоростями 200, 600, 1200 Бод и более.

Сигналы телеграфии и передачи данных обычно имеют вид последовательностей прямоугольных импульсов. На рисунке 3.6. представлен (разумеется, чисто условно) поток импульсов в виде суммы двух последовательностей: регулярной и случайной. Спектр регулярной последовательности дискретный и создает нечетные гармоники тактовой частоты (т.е. частоты следования), а последовательность имеет непрерывный заштрихованный спектр. Эти спектры показаны на рисунке 3.7.

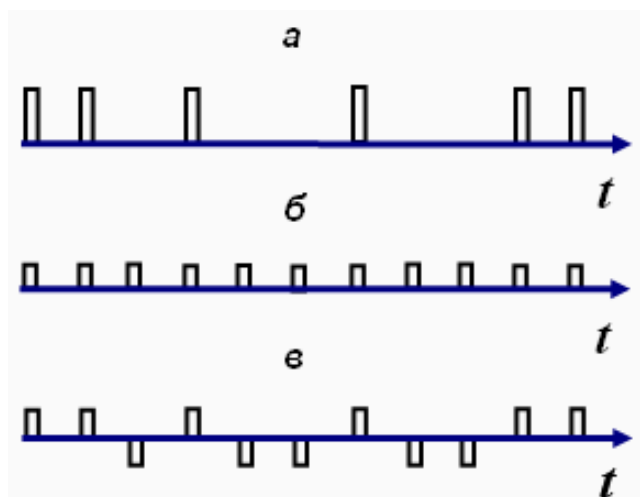


Рисунок 3.6 - Представление потока импульса (а) в виде регулярной (б) и случайной (в) составляющей

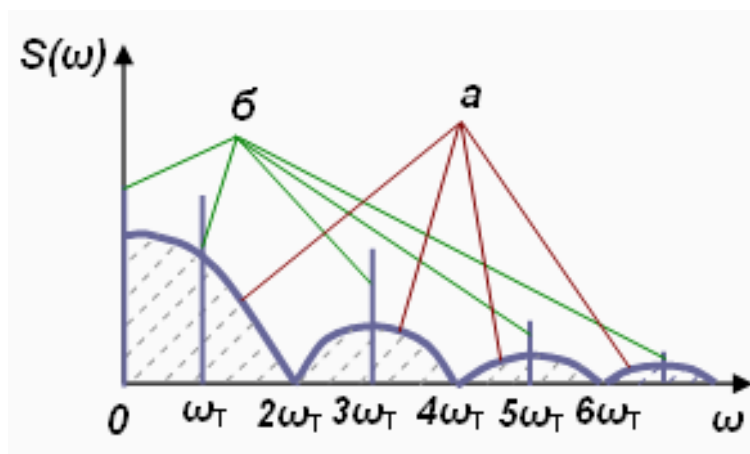


Рисунок 3.7 - Спектры случайной (а) и регулярной (б) составляющих потока импульсов.

При передаче двоичных сигналов (т.е. 0 и 1) нет необходимости восстанавливать в приемнике импульсы без искажения, т.е. сохранять их форму; для восстановления информации достаточно зафиксировать только знак импульса при полярном сигнале, либо наличие или отсутствие при однополярном сигнале. Расчеты показывают, что импульсы можно уверенно зафиксировать, если для их передачи используется ширина полосы частот, численно равная скорости передачи в бодах. Так, для стандартной скорости телеграфирования 50 Бод ширина спектра телеграфного сигнала составит 50 Гц. При скорости 2400 Бод (среднескоростная система передачи данных) ширина спектра сигнала равна примерно 2400 Гц.

Для удобства спектры основных сигналов электросвязи сведены в таблице 3.1. Даже беглый взгляд на таблице 1 позволяет понять, что для передачи разных видов сигналов требуется различная ширина полосы пропускания системы электросвязи.

Таблица 3.1 - Ширина спектра сигналов электросвязи

Вид сигнала	Ширина спектра, Гц
Телеграфный	0... 100
Передачи данных со скоростью 2400 Бод	0... 2400
Телефонный	300... 3400
Звукового вещания	50... 10 000
Факсимильный:	
при скорости 120 мин-1	0... 1465
при передаче газет	0... 180 000
Телевизионный	50... 6000 000

В зависимости от функции, описывающей параметры сигнала, выделяют аналоговые, дискретные, квантованные и цифровые сигналы:

- непрерывные (аналоговые), описываемые непрерывной функцией;
- дискретные, описываемые функцией отсчётов, взятых в определённые моменты времени;
- квантованные по уровню;
- дискретные сигналы, квантованные по уровню (цифровые).

2 Аналоговый сигнал

Аналоговый сигнал - сигнал электросвязи, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией непрерывного или дискретного времени непрерывным множеством возможных значений.

Сигнал (в теории информации и связи) — материальный носитель информации, используемый для передачи сообщений в системе связи. Сигнал может генерироваться, но его приём не обязателен, в отличие от сообщения, которое должно быть принято принимающей стороной, иначе оно не является сообщением. Сигналом может быть любой физический процесс, параметры которого изменяются в соответствии с передаваемым сообщением.

Аналоговый сигнал - сигнал, величина которого непрерывно изменяется во времени.

Аналоговый сигнал обеспечивает передачу данных путем непрерывного изменения во времени амплитуды, частоты либо фазы.

Аналоговые сигналы естественным образом передают речь, музыку и изображения. Для использования аналоговых сигналов в системах и сетях осуществляется квантование

и аналого-дискретное преобразование.

Сигнал, детерминированный или случайный, описывают математической моделью, функцией, характеризующей изменение параметров сигнала. Математическая модель представления сигнала, как функции времени, является основополагающей концепцией теоретической радиотехники, оказавшейся плодотворной как для анализа, так и для синтеза радиотехнических устройств и систем. В радиотехнике альтернативой сигналу, который несёт полезную информацию, является шум — обычно случайная функция времени, взаимодействующая (например, путём сложения) с сигналом и искажающая его. Основной задачей теоретической радиотехники является извлечение полезной информации из сигнала с обязательным учётом шума.

Понятие сигнал позволяет абстрагироваться от конкретной физической величины, например тока, напряжения, акустической волны и рассматривать вне физического контекста явления связанные кодированием информации и извлечением её из сигналов, которые обычно искажены шумами. В исследованиях сигнал часто представляется функцией времени, параметры которой могут нести нужную информацию. Способ записи этой функции, а также способ записи мешающих шумов называют математической моделью сигнала.

В связи с понятием сигнала формулируются такие базовые принципы кибернетики, как понятие о пропускной способности канала связи, разработанное Клодом Шенноном и об оптимальном приеме, разработанная В. А. Котельниковым. Классификация сигналов.

По физической природе носителя информации:

- электрические;
- электромагнитные;
- оптические;
- акустические и др.

По способу задания сигнала:

- регулярные (детерминированные) сигналы, заданные аналитической функцией;
- нерегулярные (случайные), принимающие произвольные значения в любой момент времени.

Для описания таких сигналов используется аппарат теории вероятностей.

Аналоговый сигнал (АС) рисунке 3.8. Большинство сигналов имеют аналоговую природу, то есть изменяются непрерывно во времени и могут принимать любые значения на некотором интервале. Аналоговые сигналы описываются некоторой математической функцией времени.

Пример АС — гармонический сигнал — $s(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$.

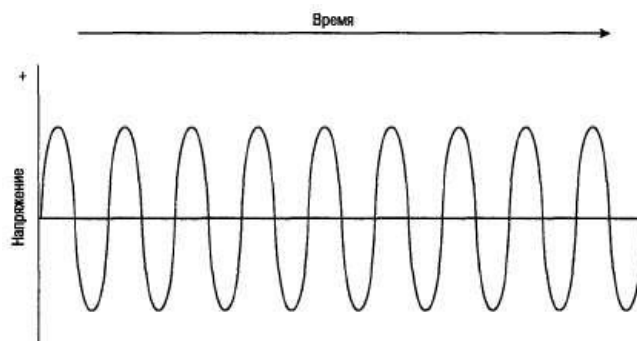


Рисунок 3.8 – Аналоговый сигнал

Как и в любой другой технологии, для описания аналоговых сигналов используются базовые концепции и собственная терминология. Непрерывные аналоговые сигналы имеют три основные характеристики:

- амплитуду;
- длину волны;
- частоту.

Аналоговые сигналы используются в телефонии, радиовещании, телевидении. Ввести такой сигнал в компьютер и обработать его невозможно, так как на любом интервале времени он имеет бесконечное множество значений, а для точного (без погрешности) представления его значения требуются числа бесконечной разрядности. Поэтому необходимо преобразовать аналоговый сигнал так, чтобы можно было представить его последовательностью чисел заданной разрядности.

3 Дискретный сигнал

Дискретизация аналогового сигнала состоит в том, что сигнал представляется в виде последовательности значений (рисунок 3.9), взятых в дискретные моменты времени. Эти значения называются отсчётами. Δt называется интервалом дискретизации.

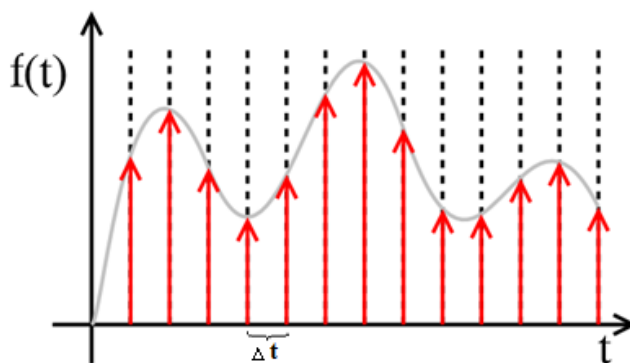


Рисунок 3.9 – Сигнал дискретный во времени

Квантованный сигнал (рисунок 3.10). При квантовании вся область значений сигнала разбивается на уровни, количество которых должно быть представлено в числах заданной разрядности. Расстояния между этими уровнями называется шагом квантования Δ . Число этих уровней равно N (от 0 до $N-1$). Каждому уровню присваивается некоторое число. Отсчёты сигнала сравниваются с уровнями квантования и в качестве сигнала выбирается число, соответствующее некоторому уровню квантования. Каждый уровень квантования кодируется двоичным числом с n разрядами. Число уровней квантования N и число разрядов n двоичных чисел, кодирующих эти уровни, связаны соотношением $n \geq \log_2(N)$.

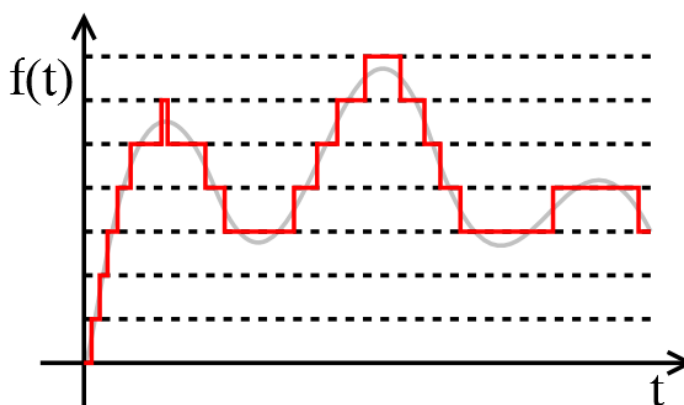


Рисунок 3.10 - Квантованный сигнал

Цифровой сигнал (рисунок 3.11) - сигнал электросвязи, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией дискретного времени и конечным множеством возможных значений

Для того чтобы представить аналоговый сигнал последовательностью чисел конечной разрядности, его следует сначала превратить в дискретный сигнал, а затем подвергнуть квантованию. Квантование является частным случаем дискретизации, когда дискретизация происходит по одинаковой величине называемой квантом. В результате сигнал будет представлен таким образом, что на каждом заданном промежутке времени известно приближённое (квантованное) значение сигнала, которое можно записать целым числом. Если записать эти целые числа в двоичной системе, получится последовательность нулей и единиц, которая и будет являться цифровым сигналом.

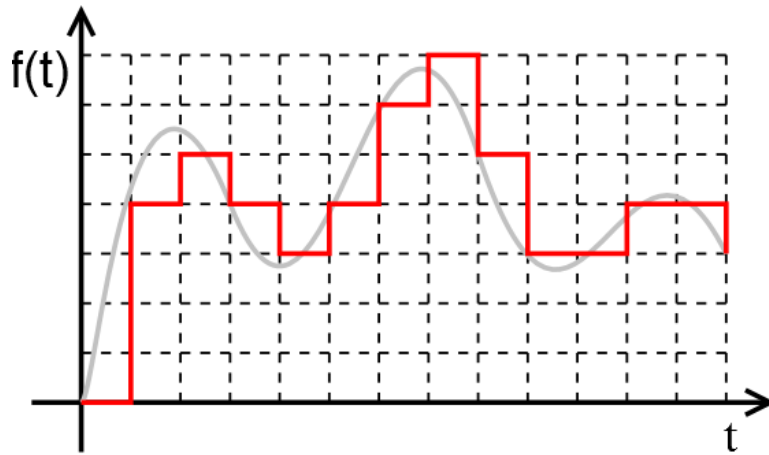


Рисунок 3.11 - Цифровой сигнал

Представление сигнала и спектр. Есть два способа представления сигнала в зависимости от области определения: временной и частотный. В первом случае сигнал представляется функцией времени характеризующей изменение его параметра. Кроме привычного временного представления сигналов и функций при анализе и обработке данных широко используется описание сигналов функциями частоты. Действительно, любой сколь угодно сложный по своей форме сигнал можно представить в виде суммы более простых сигналов, и, в частности, в виде суммы простейших гармонических колебаний, совокупность которых называется частотным спектром сигнала. Для перехода к частотному способу представления используется преобразование Фурье:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)e^{-j\omega t} dt.$$

Функция $S(\omega)$ называется спектральной функцией или спектральной плотностью.

Поскольку спектральная функция $S(\omega)$ является комплексной, то можно говорить о спектре амплитуд $|S(\omega)|$ и спектре фаз $\Phi(\omega) = \arg(S(\omega))$. Физический смысл спектральной функции: сигнал $S(t)$ представляется в виде суммы бесконечного ряда гармонических составляющих (синусоид) с амплитудами $(|S(\omega)|/\pi)d\omega$, непрерывно заполняющими интервал частот от 0 до ∞ , и начальными фазами $\Phi(\omega)$.

Размерность спектральной функции есть размерность сигнала, умноженная на время.

Параметры сигналов.

Мощность сигнала $P(t) = s^2(t)$.

Удельная энергия сигнала $E = \int_{-}^{+} s^2(t) dt$

Длительность сигнала T определяет интервал времени, в течение которого сигнал

существует (отличен от нуля);

Динамический диапазон есть отношение наибольшей мгновенной мощности сигнала к наименьшей:

$$D = 10 \lg \frac{P_{max}}{P_{min}}$$

Ширина спектра сигнала F — полоса частот, в пределах которой сосредоточена основная энергия сигнала;

База сигнала есть произведение длительности сигнала на ширину его спектра $V = T \cdot F$. Необходимо отметить, что между шириной спектра и длительностью сигнала существует обратно пропорциональная зависимость: чем короче спектр, тем больше длительность сигнала. Таким образом, величина базы остается практически неизменной;

Отношение сигнал/шум равно отношению мощности полезного сигнала к мощности шума;

Объем передаваемой информации характеризует пропускную способность канала связи, необходимую для передачи сигнала. Он определяется как произведение ширины спектра сигнала на его длительность и динамический диапазон

$$V = F \cdot T \cdot D.$$

4. Представить графически сигнал электросвязи и определить его параметры в соответствии с вариантом (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Варианты задания

№ варианта	Вид сигнала	Длительность сигнала, мкс	Частота сигнала (выборки), кГц	Максимальное значение, мВ	Минимальное значение, мкВ
1	АС	125	16	200	2
2	ДВ	250	32	300	4
3	КА	50	64	400	6
4	ЦС	375	25	500	8
5	ДВ	75	8	600	12
6	АС	500	6	700	7
7	ЦС	2500	4	800	10

Вопросы:

1. На какие простейшие составляющие "раскладывается" периодически повторяющийся прямоугольный импульс?
2. Чем отличается спектр периодического сигнала от спектра непериодического сигнала?
3. У какого импульса амплитуда спектральных составляющих убывает быстрее: а) более короткого или более длинного? б) с более крутым фронтом или с более пологим? в) повторяющегося чаще или реже?
4. Какие частотные диапазоны занимают спектры основных сигналов электросвязи?

Практическое занятие № 4

Тема: Построение систем коммутации каналов

Цель: Изучить структуру приборов и ступеней коммутации и построить системы коммутации.

1 Принципы построения аналоговых и временных систем

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

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

В коммутационном приборе в зависимости от его конструкции может быть установлено различное число коммутационных групп. Совокупность коммутационных групп называется *коммутационным полем прибора*. Местоположение коммутационных групп в коммутационном поле прибора (или коммутационном блоке, построенном из нескольких приборов) называется *точкой коммутации*. Используемые коммутационные приборы по структурным параметрам можно разделить на 4 группы:

- коммутационный прибор типа (1×1) – один вход и один выход – реле;
- коммутационный прибор типа $(1 \times m)$ – один вход $n=1$ и m выходов – искатель;
- коммутационный прибор типа $n(1 \times m)$ – имеющий n входов и nm выходов – многократный соединитель;
- коммутационный прибор типа $(n \times m)$ – имеющий n входов и m выходов, причем каждому из n входов доступен любой из m выходов, т.е. $D=m$.

В приборе одновременно может быть установлено n соединений, если $n \leq m$ или m соединений, если $n > m$. Такой прибор называется соединитель.

Находят применение электромеханические и электронные коммутационные приборы.

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

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

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

КП узла обычно собирается из отдельных частей. На рисунке 4.1 показано КП, состоящее из 3-х частей а), в), с) в которых осуществляется соединение N входов с M выходами через внутристанционные линии $V1$ и $V2$.

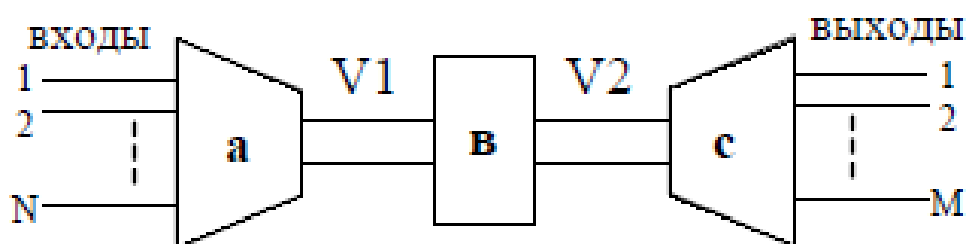


Рисунок 4.1 - Структурная схема коммутационного поля узла.

Во входы и выходы КП включаются соответственно входящие и исходящие линии.

В первой части КП (а) осуществляется переход от большого числа входных (абонентских) линий N с малым использованием к меньшему числу межстанционных линий $V1$ с более высоким использованием, так как они являются линиями коллективного пользования для всех N входов и представляются последним по мере необходимости в установлении соединений. В последующей части КП (в) внутристанционные линии $V1$

коммутируются с V_2 , и в последней части КП (с) осуществляется переход от V_2 внутриванционных линий к требуемому числу выходов M . Соотношение между числом линий следующее:

- $N > V_1$;
- $V_1 \cong V_2$; $V_2 < M$.

Отдельные части КП одновременно с коммутацией линий могут осуществлять еще и дополнительные функции, например, часть КП (а) выполняет функцию сжатия (концентрации), а часть (с) – функции расширения. Часть (в) в некоторых случаях, так же может выполнять функции сжатия или расширения в зависимости от расчетного числа линий V_1 и V_2 , которые в нее должны быть включены. На рисунке 4.2 показаны коммутационный блок из N элементов в каждый из которых включено m линий, при этом общее число входных линий N , а выходов M .

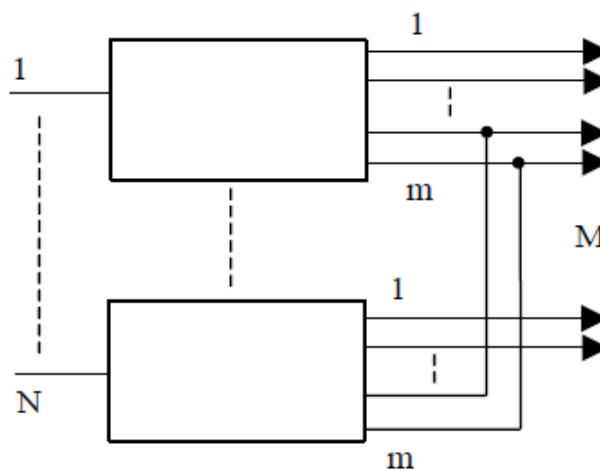


Рисунок 4.2 - Коммутационный блок

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

Коммутационная станция – совокупность технических средств, обеспечивающая коммутацию абонентских и соединительных линий и каналов при осуществлении окончных и транзитных соединений во вторичной сети связи.

Пространственная коммутация. В пространственных КП коммутируемые цепи разделены в пространстве. Простейшим коммутационным устройством КП является коммутатор (рисунок 4.3) – это коммутационная схема с n входами и m выходами.

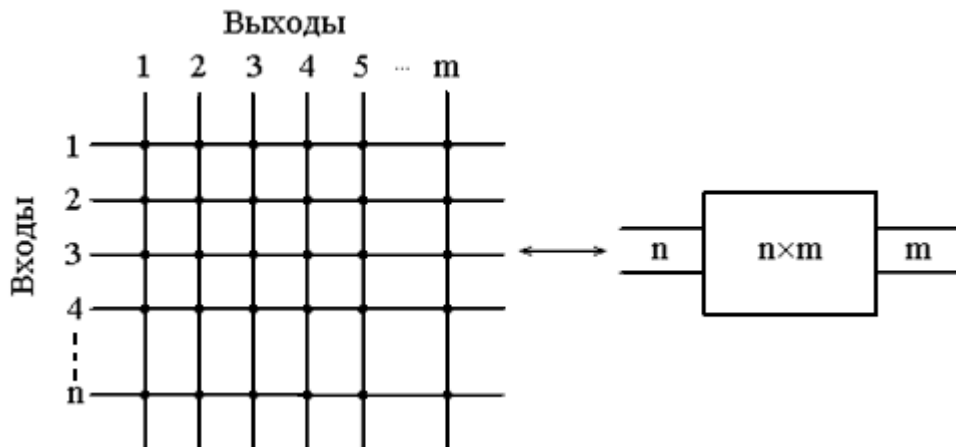


Рисунок 4.3 - Схема коммутатора $n \times m$ и его символическое изображение

В точке пересечения входа с выходом может быть установлен коммутационный элемент (КЭ) – металлический контакт или полупроводниковый переключатель. Если в квадратном коммутаторе $n \times n$ на пересечении всех входов с выходами установлены КЭ, то в нём всегда можно установить соединение заданного входа с любым свободным выходом. Коммутатор с таким свойством является неблокирующим, то есть все его выходы доступны любому входу и даже при занятости $n - 1$ выходов последний свободный выход доступен входу. Если $n > m$, то в коммутаторе возникают блокировки.

Если к входам и выходам одного квадратного коммутатора $N \times N$ подключить абонентские линии одной АТС, то количество необходимых КЭ $Q = N^2 - N = N(N - 1)$, так как КЭ по диагонали слева направо не нужны. Стоимость такого КП будет велика. Использование многозвенных структур, в которых коммутаторы соединены каскадно, позволяет построить КП с существенно меньшим количеством КЭ при заданном количестве абонентов станции и с приемлемыми потерями. Схема такого КП показана на рисунке 4.4.

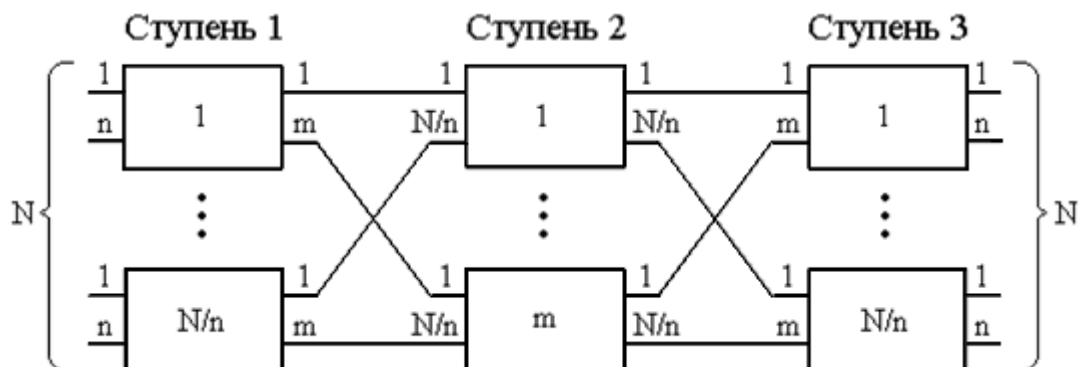


Рисунок 4.4 - Трёхступенчатая (трёхзвенная) коммутационная схема

Каждая ступень коммутации связана с совокупностью соединительных путей (звеньев). Общее число КЭ в этой схеме существенно меньше, чем в схеме квадратного коммутатора с N -входами и N -выходами:

$$Q = 2nm (N/n) + m (N/n)^2 = 2Nm + m (N/n)^2$$

Коммутационные поля современных ЦСК относятся к КП блокирующего типа, однако в них число звеньев и параметры коммутаторов выбирают такими, чтобы вероятность блокировки была очень мала (не больше 0,1%) [1].

Трёхзвенная схема может быть и не блокирующей, если будет выполнено условие: $m = 2n - 1$. Использование неблокирующих схем в ЦСК большого объёма неэффективно, так как требует значительно большего количества КЭ, чем в блокирующих, при прочих равных условиях.

Временная коммутация. Временное разделение может реализоваться, например с помощью импульсно-кодовой модуляции. В ТФ-ОП России, как и в сетях Европы, используются тридцатиканальные ЦСП с ИКМ. В групповом тракте одного направления передачи (например, в двухпроводной кабельной физической линии) такой ЦСП организуется 30 разделённых во времени каналов (ВК) для передачи речевой информации или данных и двух специальных канала. Такое разделение 30 каналов, предоставляемых пользователям, показано на рисунке 6.5а. Коммутационные поля цифровых станций и узлов строятся с использованием пространственно-временной коммутации. Пусть для каждого ВК существует ячейка памяти, где код данных хранится в течение цикла. На рисунке 4.5б ячейки, закреплённые за одной линией ИКМ, показаны вертикальными линиями. Также имеются промежуточные линии (горизонтальные), по которым содержимое любой ячейки может быть прочитано в любом нужном временном положении. Процесс такого считывания и называется временной коммутацией.

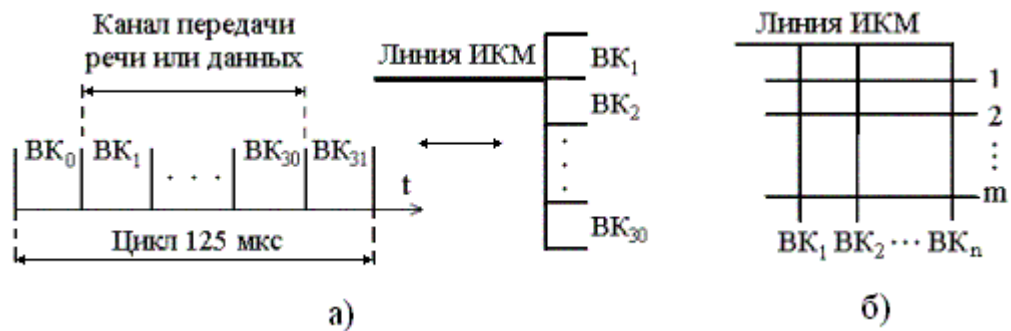


Рисунок 4.5 а) Формат цикла ЦСП с ИКМ и схематичное изображение временного разделения каналов, б) Схема пространственного эквивалента временной коммутации.

Пример КП с пространственно-временной коммутацией показан на рисунке 4.6. В ней на первой ступени и третьей ступенях используется временная, а на второй – пространственная коммутация.

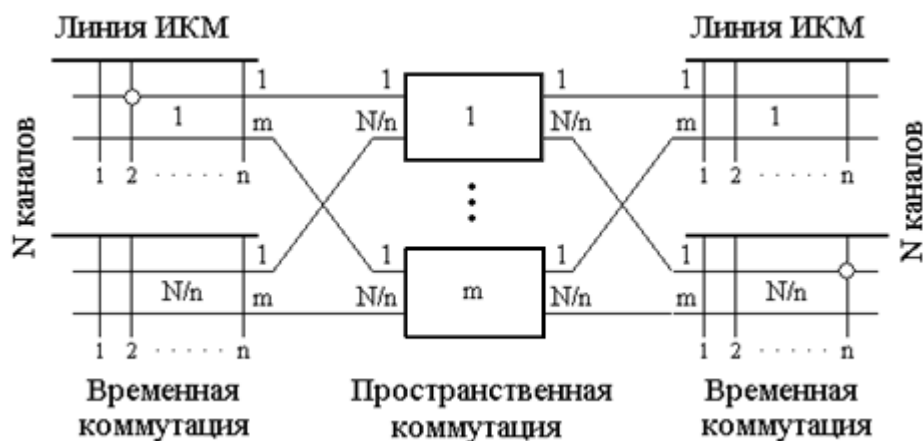


Рисунок 4.6 - Схема трёхзвенного КП типа В – П – В.

Тип коммутации, приведённой на схеме, называют время – пространство – время (В – П – В). Как и на рисунке 6, здесь число входящих и исходящих каналов равно N . Эти каналы представлены в N/n входящих и исходящих линиях ИКМ. Работа такой коммутационной схемы аналогична работе трёхзвенной пространственной коммутационной (смотри рисунок 5). В пространственных коммутаторах второй ступени устанавливаются соединения временных каналов исходящих и входящих линий ИКМ [1].

Это значит, что КЭ, разделённые в пространстве и установленные на пересечении вертикали с горизонталью, должны открываться в выбранном свободном временном положении коммутации, которое выбирается управляющим устройством. Оно же обеспечивает считывание кода данных из требуемой ячейки (например, второй) информационной памяти входящей линии ИКМ (например, первой) в ячейку (например, n) информационной памяти некоторой исходящей линии ИКМ (например, N/n -й).

В реальных узлах коммутации (например, телефонных сетей) только пространственная коммутация каналов не используется ввиду невозможности соединения любых КИ цифровых трактов ИКМ между собой (ПК коммутирует только одноименные КИ разных цифровых трактов). Отдельно временная коммутация каналов применяется в основном в узлах малой емкости, т.к. реализовать временной коммутатор большой емкости сложно из-за проблем высокой тактовой частоты работы ЗУ.

Чаще всего на практике применяют комбинированные пространственно-временные коммутационные схемы (коммутационные поля), когда коммутация производится одновременно в другой тракт и другое временное положение КИ.

Отчет по работе:

- тема, цель занятия;
- краткие теоретические сведения;

- структурные схемы коммутационных приборов, блоков и полей;
- трёхзвенная коммутационная схема типа В – П – В с заданными параметрами.

Контрольные вопросы:

1. Какие методы коммутации используются в сетях связи?
2. В чём отличие метода коммутации сообщений и метода коммутации пакетов?
Каким главным недостатком обладает метод коммутации каналов? В чём его достоинство?
3. Каковы принципы пространственной коммутации?
4. К чему сводится работа схемы временной коммутации?
5. Приведите пример трёхзвенной коммутационной схемы.
6. В чём преимущество многозвенных (многоступенных) коммутационных схем по сравнению с однозвенными?
7. Постройте трёхзвенную коммутационную схему типа В – П – В.
Какая величина потерь (блокировок) не замечается абонентами?
8. Каковы принципы пространственной коммутации?
9. К чему сводится работа схемы временной коммутации?
10. В чём преимущество многозвенных (многоступенных) коммутационных схем по сравнению с однозвенными?
11. Какие приборы коммутации используются в аналоговых АТС?
12. Какие ступени коммутации используются в цифровых АТС?
13. Дайте характеристику коммутационному полю.
14. Принципы управления, реализованные в аналоговых АТС.
15. Принципы управления, реализованные в цифровых АТС.
16. От чего зависит время набора телефонного номера?

Практическое занятие 5

Тема: Агрегатные сигналы электросвязи.

Цель: Ознакомиться с технологиями, используемыми при формировании агрегатного сигнала электросвязи. Научиться формировать групповой сигнал при частотном и временном уплотнении.

Учебные вопросы:

1. Формирование линейного спектра
2. Формирование временного спектра
3. Построение агрегатных сигналов при частотном и временном уплотнениях.

1 Формирование линейного спектра

Линейный спектр имеет место в системах многоканальной связи, которая предназначена для передачи по одной линии N , сигналов из пункта А в пункт Б, приведена на рисунке 5.1. Информационные сигналы $c_1(t), c_2(t), \dots, c_N(t)$ от N источников информации поступают на оконечную аппаратуру пункта А, которая состоит из преобразователей M_1, M_2, \dots, M_N , объединяющего (суммирующего) устройства и групповых устройств ГУ. С помощью преобразователей из исходных информационных сигналов $c_1(t), c_2(t), \dots, c_N(t)$ формируются каналные сигналы $u_1(t), u_2(t), \dots, u_N(t)$, которые объединяются в групповой сигнал $u(t)$, причем:

$$u(t) = \sum_{R=1}^N u_R(t)$$

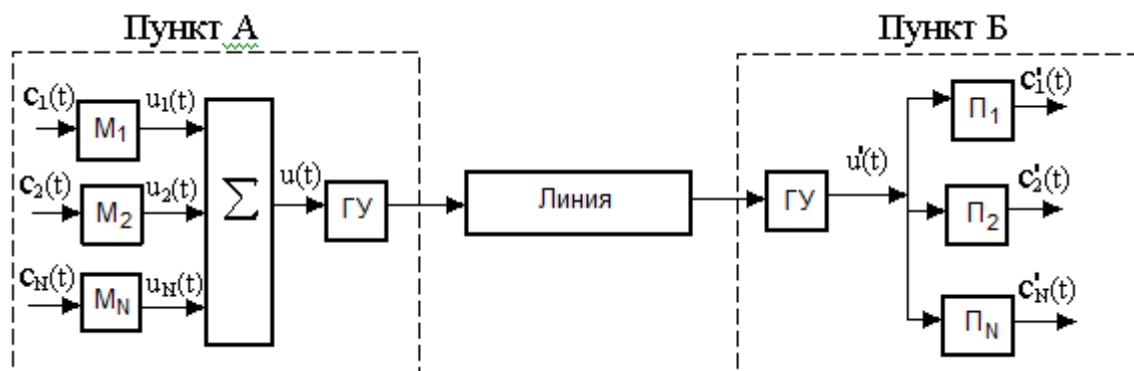


Рисунок 5.1 - Структурная схема системы многоканальной связи

Линейный спектр формируется из канальных сигналов путем их преобразований. В результате преобразований спектр канального сигнала переносится в определенную полосу частот. Для каждого канала используется в линии своя полоса частот. Структурная схема системы передачи с ЧРК представлена на рисунке 5.2.

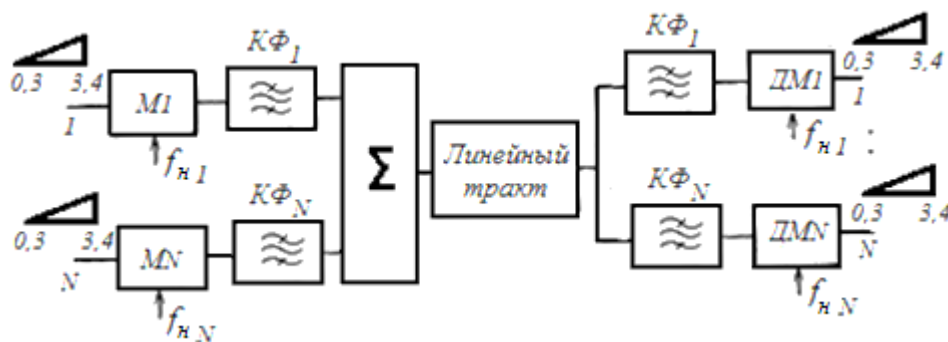


Рисунок 5.2 - Структурная схема системы передачи с ЧРК

С помощью системы несущих колебаний f_{H1}, \dots, f_{HN} модуляторы M_1, \dots, M_N формируют канальные сигналы, спектры которых занимают взаимно непересекающиеся диапазоны частот (рисунок 5.3). Спектры первичных сигналов идентичны и занимают диапазон 0,3 ... 3,4 кГц.

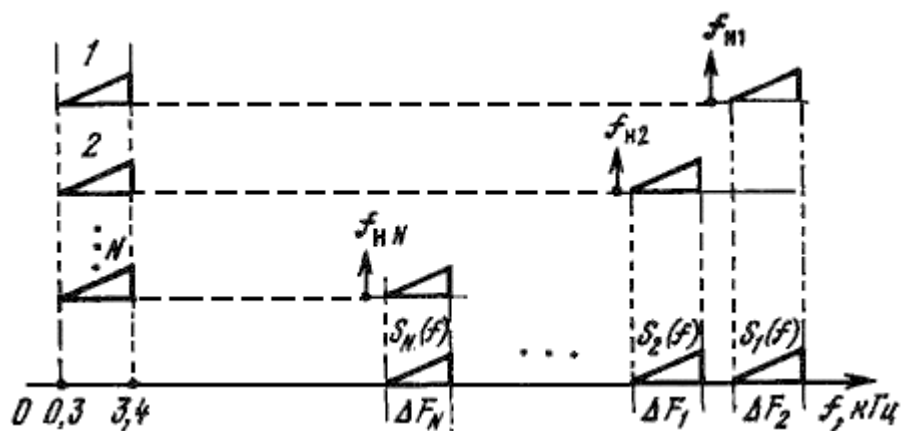


Рисунок 5.3 - Схема преобразования спектров сигналов в СП с ЧРК

Наиболее просто сформировать линейный спектр одной ступенью преобразования, подавая на каждый канальный модулятор (КМ) первичный телефонный сигнала с полосой частот 0,3...3,4 кГц и свою несущую частоту: на первый канал $f_1 = 12$ кГц, на второй канал $f_2 = 16$ кГц и так далее через 4 кГц.

Возможно и другое формирование линейного спектра, ступенчатое. Для реализации канальных полосовых фильтров выбирается диапазон частот, являющийся оптимальным для конкретной элементной базы и в пределах которого формируется n_1 канальных

сигналов ОБП, занимающих не перекрывающиеся полосы частот. Степень формирования группового сигнала на n_1 канальных сигналов называется *ступенью индивидуального преобразования*. Следующие ступени преобразования являются *групповыми* и предназначаются для создания из n_2 одинаковых по спектру n_1 - канальных групповых сигналов общего группового q -канального сигнала (где $q = n_1 n_2$), затем для создания из n_3 одинаковых по спектру q -канальных групповых сигналов общего группового N -канального сигнала (где $N = q n_3 = n_1 n_2 n_3$) и т.д. Последняя ступень группового преобразования предназначается для преобразования спектров полученных многоканальных групповых сигналов, содержащих необходимое число канальных сигналов, в линейный спектр СП с ЧРК, предназначенный для передачи по линии. Структурная схема, поясняющая принцип многократного преобразования частоты, показана на рисунке 5.4.

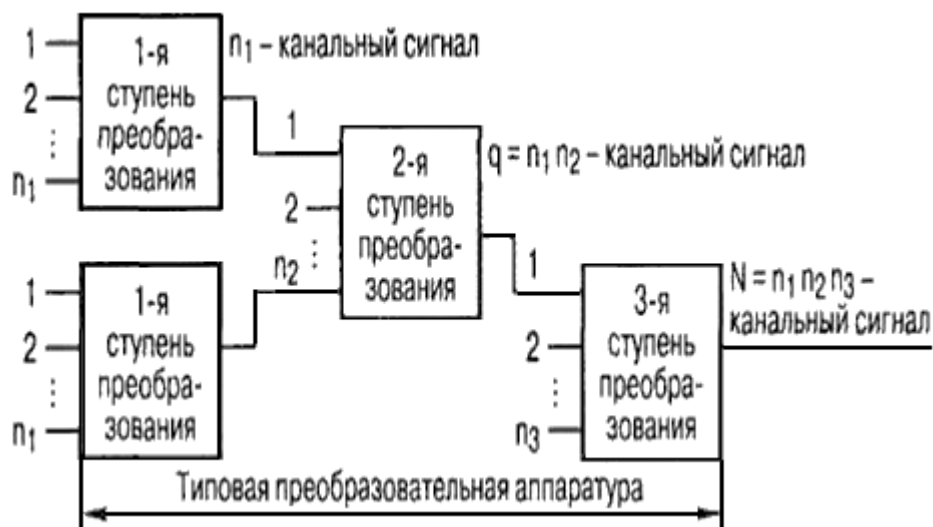


Рисунок 5.4 - К пояснению принципа многократного преобразования частоты

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

2 Формирование временного спектра

Временной спектр формируется при создании цифровых потоков различного уровня в цифровых системах передачи плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ). Используются два метода формирования временного спектра:

длительностью $T_{и}=244\text{нс}$ при передаче в данном разряде единицы (при передаче нуля импульс в разрядном интервале отсутствует). Интервалы КИ0 в четных циклах предназначаются для передачи циклового синхросигнала (ЦСС), имеющего вид 0011011 и занимающего интервалы Р2– Р8. В интервале Р1 всех циклов передается информация контроля ошибок передачи ($K_{ош}$). В нечетных циклах интервалы Р3 и Р6 КИ0 используются для передачи информации о потере цикловой синхронизации (Авар. ЦС – LOF) и снижении остаточного затухания каналов до значения, при котором в них может возникнуть самовозбуждение (Ост. зат.). Интервалы Р4, Р5, Р7 и Р8 являются свободными, их занимают единичными сигналами для улучшения работы выделителей тактовой частоты. В интервале КИ16 нулевого цикла (Ц0) передается сверхциклового синхросигнал вида 0000 (Р1–Р4), а также сигнал о потере сверхциклового синхронизации (Р6 – Авар. СЦС – LOM). Остальные три разрядных интервала свободны. В канальном интервале КИ16 остальных циклов (Ц1–Ц15) передаются сигналы служебных каналов СК1 и СК2, причем в Ц1 передаются СК для 1-го и 16-го каналов ТЧ, в Ц2 – для 2-го и 17-го и т.д. Интервалы Р3, Р4, Р6 и Р7 свободны.

Структура временного спектра потока Е2 с положительным, отрицательным и нулевым выравниванием определена в рекомендации ITU-T G.745 (рисунок 4.6). Поток Е2 формируется побитным мультиплексированием четырех потоков Е1. Информация, относящаяся к четырем потокам Е1, обозначена римскими цифрами I, II, III, IV. Цикл передачи имеет длительность 125 мкс и состоит из 1056 позиций.

Цикл разделен на 4 субцикла, одинаковых по длительности. Первые восемь бит первого субцикла заняты комбинацией 11100110, представляющей собой цикловой синхросигнал объединенного потока.

Первые четыре бита второго субцикла заняты первыми символами команд согласования скоростей (КСС), а следующие четыре – сигналами служебной связи. Вторые и третьи символы КСС занимают первые четыре бита третьего и четвертого субциклов.

Команды КСС распределены по группам для увеличения помехоустойчивости. В каждой группе КСС бит №1 содержит фрагмент кода команды для объединяемого потока Е1 №1, бит №2 – для потока Е1 №2 и т.д. Таким образом, после приема всех трех групп КСС получают четыре КСС (для каждого из четырех принятых потоков Е1). Коды КСС следующие: 111 – ПСС, 000 – ОСС, 101 – отсутствие согласования скоростей (нулевое выравнивание).

В битах 5–8 четвертого субцикла передается информация объединяемых потоков при ОСС. При ПСС исключаются биты 9–12 четвертого субцикла. Биты 5–8 субцикла №2

используются для передачи сигналов служебной связи. Биты 5–8 субцикла №3 используются для передачи сигналов данных (два 74 бита), аварийных сигналов и вызова по каналу служебной связи (по одному биту). Таким образом, из общего числа бит потока E2 информационными являются 1024 ± 4 бита. Скорость потока E2 составляет 8448 кбит/с.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	.....	263	264	№ поз
1	1	1	0	0	1	1	0	I	II	III	IV	I		III	IV	I СЦ
Цикловой синхросигнал																

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	.....	263	264	№ поз
Первые символы КСС				Служебная связь				I	II	III	IV	I		III	IV	II СЦ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	.....	263	264	№ поз
Вторые символы КСС				ПДИ		Авар. Сигналы		I	II	III	IV	I		III	IV	III СЦ
						зконтроля										

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	.....	263	264	№ поз
Третьи символы КСС				I	II	III	IV	I	II	III	IV	I		III	IV	IV СЦ
				Дополнительная информация при отриц.СС				Вставки при положительном СС								

Рисунок 5.6 - Временной спектр вторичного потока E2

Объединение потоков E1 осуществляется посимвольно (побитно), т.е. считывание информации из запоминающих устройств при объединении происходит по разрядам: вначале считывается и передается разряд первого потока, затем – второго и т.д., после считывания разряда последнего из объединяемых потоков вновь считывается очередной разряд первого, т.е. цикл повторяется.

Отчет по работе:

- тема, цель занятия;
- краткие теоретические сведения;

- временные спектры цифровых потоков в соответствии с заданием по вариантам (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Исходные данные для построения временных спектров цифровых потоков

№ Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Число каналов в цифровом потоке	60	90	150	180	240	270	360	480

Контрольные вопросы:

1. Какие принципы уплотнения используются при формировании группового сигнала электросвязи?
2. Дайте характеристику аналоговому сигналу.
3. Дайте характеристику цифровому сигналу.
4. Особенность формирования цифрового группового сигнала.
5. Характеристики группового сигнала электросвязи.
6. Какие технологии передают групповой сигнал электросвязи?
7. Какие частоты используются в качестве индивидуальных несущих частот?
8. Какие частоты используются в качестве групповых несущих частот?
9. С какой целью в многоканальной системе передачи с ЧРК вводятся защитные частотные интервалы между спектрами канальных сигналов?
10. За счет, каких мер в многоканальной системе передачи может происходить увеличение количества абонентов?
11. Какую задачу выполняют КСС?

Практическое занятие № 6

Тема: Структура пакета и передача его по сети связи

Цель работы: Приобрести навыки передачи информации в инфокоммуникационных сетях связи.

Задание к практическому занятию:

1. Изучить структуру информационных потоков передаваемых по сети связи.
2. Выполнить перераспределение цифровых потоков и осуществить передачу данных.

1 Краткие теоретические сведения

Тенденции развития телекоммуникаций в XXI веке показывают, что человечество движется по пути создания глобального информационного общества. Понятие информационного общества (ИО) четко не определено, но можно предположить, что это такое общество, в котором информатизация и телекоммуникации (инфокоммуникации) будут определять новую ступень развития экономики, социальной сферы, культуры и науки.

Особенности построения цифровых систем передачи являются:

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

Аппаратура ЦСП состоит из аппаратуры формирования и приема цифровых сигналов, а также аппаратуры линейного тракта. Цифровой сигнал формируется в оборудовании аналого-цифрового преобразования (каналообразования) первичных ЦСП или в оборудовании временного группообразования ЦСП более высокого уровня. В первом случае на вход ЦСП поступают аналоговые сигналы, а во втором — цифровые.

При передаче телефонных сигналов по каналам ЦСП используется ВРК с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ). В этом случае формирование группового цифрового сигнала предусматривает последовательное выполнение следующих основных операций (рисунок 6.1):

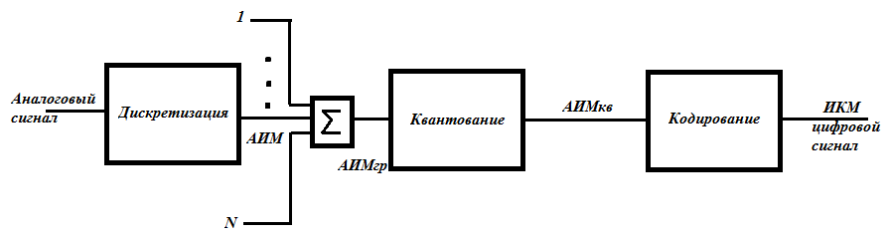


Рисунок 6.1- Принципы формирования цифрового группового сигнала

-дискретизации индивидуальных телефонных сигналов по времени, в результате чего формируется импульсный сигнал, промоделированный по амплитуде, т.е. АИМ сигнал;

-объединения N индивидуальных АИМ сигналов в групповой АИМ сигнал с использованием принципов временного разделения каналов;

-квантования группового АИМ сигнала по уровню;

- последовательного кодирования отчетов группового АИМ сигнала, в результате чего формируется групповой ИКМ сигнал, т. е. цифровой сигнал.

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

Современной технологией, используемой в настоящее время для построения сетей связи, является синхронная цифровая иерархия (СЦИ) (Synchronous Digital Hierarchy-SDH). Системы SDH обеспечивают скорость передачи от 155 Мбит/с и выше и могут транспортировать как сигналы существующих ЦСП, так и новых перспективных служб, в том числе широкополосных. Аппаратура SDH является программно управляемой и интегрирует в себе средства преобразования, передачи, оперативного переключения, контроля, управления.

SDH позволяет организовать универсальную транспортную сеть, выполняющую функции как передачи информации, так и контроля и управления. Она рассчитана на транспортирование всех сигналов PDH, а также всех действующих и перспективных служб (рисунок 6.2) [3].

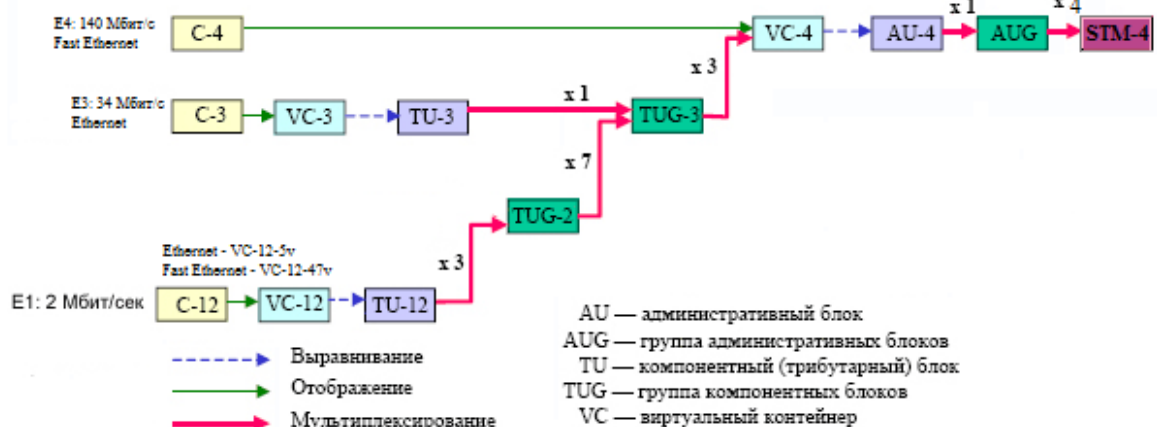


Рисунок 6.2 – Цифровой поток SDH

Ethernet — семейство технологий пакетной передачи данных для компьютерных сетей. Стандарты Ethernet определяют проводные соединения и электрические сигналы на физическом уровне, формат кадров и протоколы управления доступом к среде — на канальном уровне модели OSI. Ethernet в основном описывается стандартами IEEE группы 802.3. Ethernet стал самой распространённой технологией ЛВС в середине 1990-х годов, вытеснив такие устаревшие технологии, как ARCNET и Token ring.

Название «Ethernet» (буквально «эфирная сеть» или «среда сети») отражает первоначальный принцип работы этой технологии: всё, передаваемое одним узлом, одновременно принимается всеми остальными (то есть имеется некое сходство с радиовещанием). В настоящее время практически всегда подключение происходит через коммутаторы (switch), так что кадры, отправляемые одним узлом, доходят лишь до адресата (исключение составляют передачи на широковещательный адрес) — это повышает скорость работы и безопасность сети. На рисунке 6.3 представлен порядок формирования пакета Ethernet.

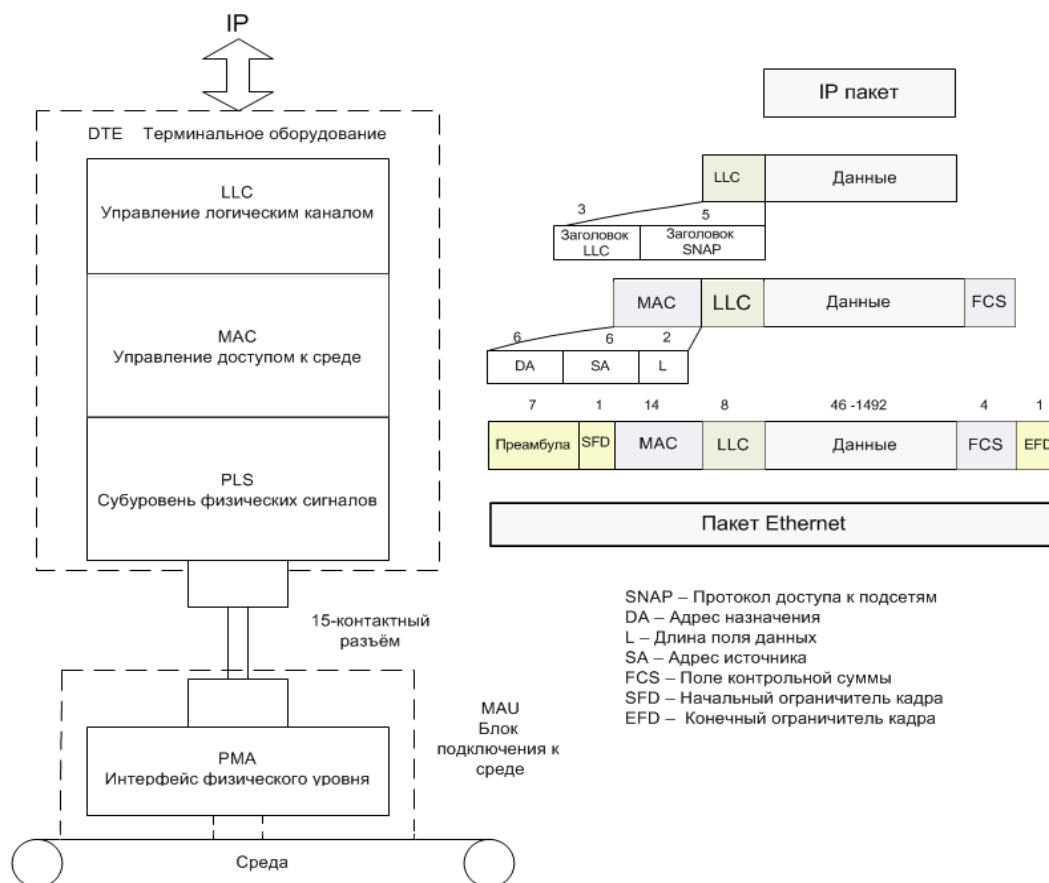


Рисунок 6.3 – Структура пакета Ethernet

2 Оборудование рабочего места

Комбинированная локальная мультисервисная транспортная сеть связи (аудитория № 304).

3 Порядок выполнения работы

1. Включить локальную мульти сервисную транспортную сеть связи.
2. Передать различные виды сигналов (аудио, видео, данные) по сети различным оконечным устройствам используя технологии SDH и PDH.
3. Передать различные виды сигналов (аудио, видео, данные) по сети различным оконечным устройствам используя технологии Eth и FE.

4 Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Название, цель практического занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты выполнения заданий.
4. Выводы по работе.

Отчет оформляется в тетради для практических занятий по дисциплине.

5 Контрольные вопросы:

1. Чем коммутатор отличается от моста?
2. При каком распределении трафика неблокирующий коммутатор с 12-ю портами Fast Ethernet и одним портом Gigabit Ethernet оправдывает свое название? Варианты ответов:
 - а) входной трафик всех портов Fast Ethernet, которые работают с близкой к 100 % нагрузкой, направлен в порт Gigabit Ethernet;
 - б) входной трафик порта Gigabit Ethernet, который работает с близкой к 100 % нагрузкой, равномерно распределен между 12-ю портами Fast Ethernet;
 - в) входной трафик всех портов Fast Ethernet, которые работают с 50-процентной нагрузкой, направлен в порт Gigabit Ethernet.
3. Совпадают ли форматы кадров 10 Мбит/с Ethernet и Fast Ethernet?
4. Можно ли коммутатор локальной сети с интерфейсом 10GBase-WL непосредственно присоединить к порту STM-64 мультиплексора SDH?
5. Можно ли в сети PDH выделить канал E-0 непосредственно из канала E-3?
6. Какое максимальное количество каналов E-1 может мультиплексировать кадр

STM-1?

7. По какой причине в кадре STM-1 используется три указателя?
8. Для достижения, каких целей разработан механизм виртуальной конкатенации?
9. Что общего между первичными сетями FDM и DWDM?
10. С какой целью в сетях DWDM используются регенераторы, преобразующие оптический сигнал в электрический?
11. Какой принцип лежит в основе методов обнаружения и коррекции ошибок?
12. При каком методе кодирования/модуляции спектр сигнала симметричен относительно основной гармонике?
13. Каким образом можно повысить скорость передачи данных по кабельной линии связи?

6 Информационные источники

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А., Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. Спб.: Питер, 2010.
2. В.В. Величко, Е.А. Субботин, В.П. Шувалов, А.Ф. Ярославцев; Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3-томах. Том 3 – Мультисервисные сети под ред. профессора В.П. Шувалова. - Изд. 3-е, М.: Горячая линия - Телеком, 2015.
3. Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов - М.: Горячая линия - Телеком, 2013.

Практическое занятие № 7

Тема: Модуляция и манипуляция радиосигналов

Цель работы: Провести анализ основных видов модуляции в радиосетях связи.

Постановка задачи:

1. Изучить структурную схему системы радиосвязи.
2. Изучить основные виды модуляции
2. Рассчитать полосы пропускания радиолинии при цифровых сигналах.

1 Системы радиосвязи

Системы радиосвязи это системы передачи сообщений посредством радиоволн. Радиоволны или волны Герца представляют собой электромагнитные волны, частоты которых произвольно ограничены величинами ниже 3000 ГГц, распространяющиеся в пространстве без искусственного волновода.

Обобщенная структура радиосвязи представлена на рисунке 7.1.



Рисунок 7.1 - Обобщенная структура радиосвязи

Радиосвязь можно классифицировать по различным признакам:

- по частотному диапазону (таблица 7.1);
- по виду сигнала (аналоговая или цифровая),
- по способу организации связи (симплексная, дуплексная, полудуплексная), по используемой радиолинии и т.д.

Таблица 7.1 – Частотные диапазоны

Условное обозначение	Наименование диапазона	Диапазон частот
ОНЧ (VLF)	Очень низкочастотный	3 - 30 кГц
НЧ(LF)	Низкочастотный	30 - 300 кГц
СЧ (MF)	Среднечастотный	300 - 3 000 кГц
ВЧ (HF)	Высокочастотный	3 - 30 МГц
ОВЧ (VHF)	Очень высокочастотный	30 - 300 МГц
УВЧ (UHF)	Сверх высокочастотный	300 - 3 000 МГц
СВЧ (SHF)	Супер высокочастотный	3 - 30 ГГц
КВЧ (EHF)	Крайне высокочастотный	30 - 300 ГГц
ГВЧ	Гипер высокочастотный	300 - 3 000 ГГц

2 Основные виды модуляции

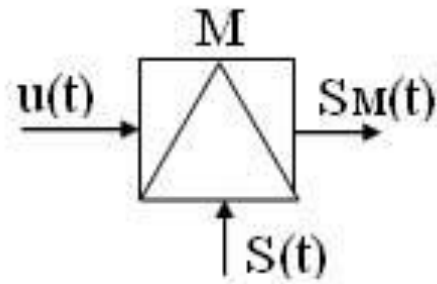
Модуляция - это процесс преобразования одного или нескольких информационных параметров несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями информационного сигнала.

В результате модуляции сигналы переносятся в область более высоких частот.

Использование модуляции позволяет:

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

Модуляция осуществляется в устройствах модуляторов. Условное графическое обозначение модулятора имеет вид:



$u(t)$ — модулирующий, данный сигнал является информационным и низкочастотным;

$S(t)$ — модулируемый (несущий), данный сигнал является неинформационным и высокочастотным;

$S_M(t)$ — модулированный сигнал, данный сигнал является информационным и высокочастотным.

Рисунок 7.2 - Условное графическое обозначение модулятора

В качестве несущего сигнала может использоваться:

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

Так как в процессе модуляции изменяются информационные параметры несущего колебания, то название вида модуляции зависит от изменяемого параметра этого колебания.

Виды аналоговой модуляции:

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

Виды импульсной модуляции:

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

несущего сигнала;

- Широтно-импульсная модуляция (ШИМ), происходит изменение длительности импульсов несущего сигнала.

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

Математическая модель АМ сигнала при гармоническом модулирующем сигнале будет имеет вид:

$$S_{ам}(t) = U_m(1 + m_{ам} \sin \Omega t) \sin(\omega_0 t + \varphi). \quad (7.1)$$

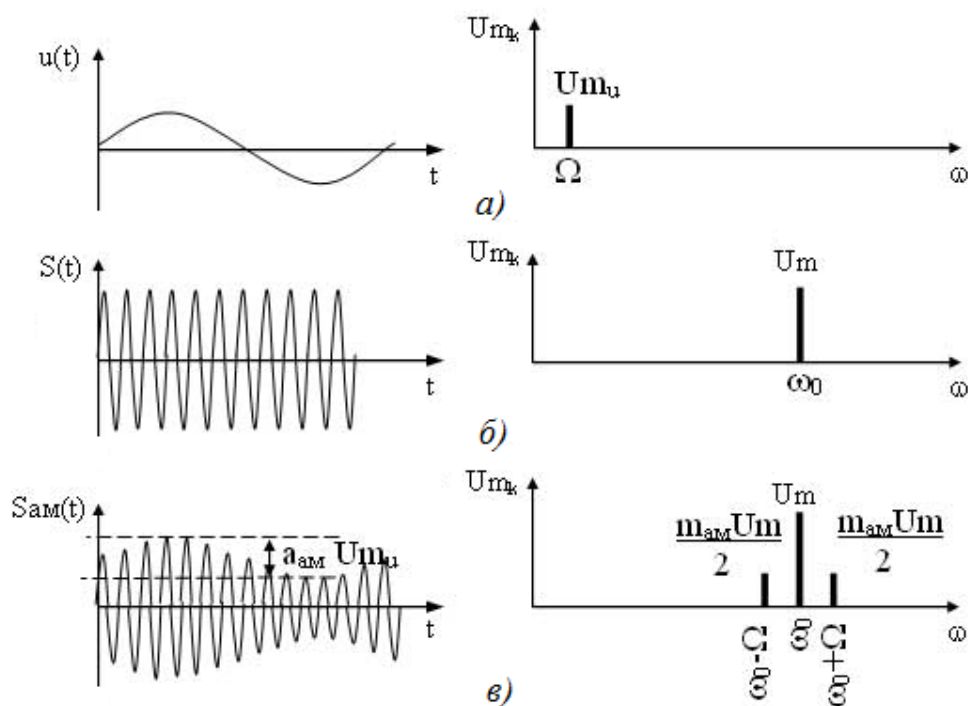


Рисунок 7.3 - Временные и спектральные диаграммы модулирующего (а), несущего (б) и амплитудно-модулированного (в) сигналов

Основными достоинствами амплитудной модуляции являются:

- узкая ширина спектра АМ сигнала;
- простота получения модулированных сигналов.

Недостатками этой модуляции являются:

- низкая помехоустойчивость (т. к. при воздействии помехи на сигнал искажается его форма — огибающая, которая и содержит передаваемое сообщение);

- неэффективное использование мощности передатчика (т. к. наибольшая часть энергии модулированного сигнала содержится в составляющей несущего сигнала до 64%, а на информационные боковые полосы приходится по 18%).

Амплитудная модуляция нашла широкое применение:

- в системах телевизионного вещания (для передачи телевизионных сигналов);
- в системах звукового радиовещания и радиосвязи на длинных и средних волнах;
- в системе трехпрограммного проводного вещания.

Частотная модуляция — процесс изменения частоты несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями модулирующего сигнала.

При воздействии модулирующего сигнала

$u(t) = U_m \sin \Omega t$ на несущее колебание $S(t) = U \sin(\omega_0 t + \varphi)$ происходит изменение частоты несущего сигнала по закону:

$$\omega_{\text{ЧМ}}(t) = \omega_0 + a_{\text{ЧМ}} U_m \sin \Omega t \quad (7.2)$$

где $a_{\text{ЧМ}}$ — коэффициент пропорциональности частотной модуляции.

Поскольку значение $\sin \Omega t$ может изменяться в диапазоне от -1 до 1, то наибольшее отклонение частоты ЧМ сигнала от частоты несущего сигнала составляет

$$\Delta F_{\text{ЧМ}} = a_{\text{ЧМ}} U_m \quad (7.3)$$

Величина $\Delta F_{\text{ЧМ}}$ называется девиацией частоты. Следовательно, *девиация частоты* показывает наибольшее отклонение частоты модулированного сигнала от частоты несущего сигнала.

Временные диаграммы, поясняющие процесс формирования частотно-модулированного сигнала приведены на рисунке 7.4. На первых диаграммах а) и б) представлены соответственно несущий и модулирующий сигналы, на рисунке в) представлена диаграмма показывающая закон изменения частоты ЧМ сигнала. На диаграмме г) представлен частотно-модулированный сигнал соответствующий заданному модулирующему сигналу, как видно из диаграммы любое изменение амплитуды модулирующего сигнала вызывает пропорциональное изменение частоты несущего сигнала.

Для построения спектра ЧМ сигнала необходимо разложить его математическую модель на гармонические составляющие. В результате разложения получим

$$\begin{aligned}
S_{\text{чм}}(t) = & U_m J_0(M_{\text{чм}}) \sin(\omega_0 t + \varphi) - U_m J_1(M_{\text{чм}}) \{ \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi] + \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi] \} - \\
& U_m J_2(M_{\text{чм}}) \{ \sin[(\omega_0 - 2\Omega)t + \varphi] + \sin[(\omega_0 + 2\Omega)t + \varphi] \} + \\
& + U_m J_3(M_{\text{чм}}) \{ \cos[(\omega_0 - 3\Omega)t + \varphi] + \cos[(\omega_0 + 3\Omega)t + \varphi] \} - \\
& - U_m J_4(M_{\text{чм}}) \{ \sin[(\omega_0 - 4\Omega)t + \varphi] + \sin[(\omega_0 + 4\Omega)t + \varphi] \} - \dots \quad (7.4)
\end{aligned}$$

где $J_k(M_{\text{чм}})$ — коэффициенты пропорциональности.

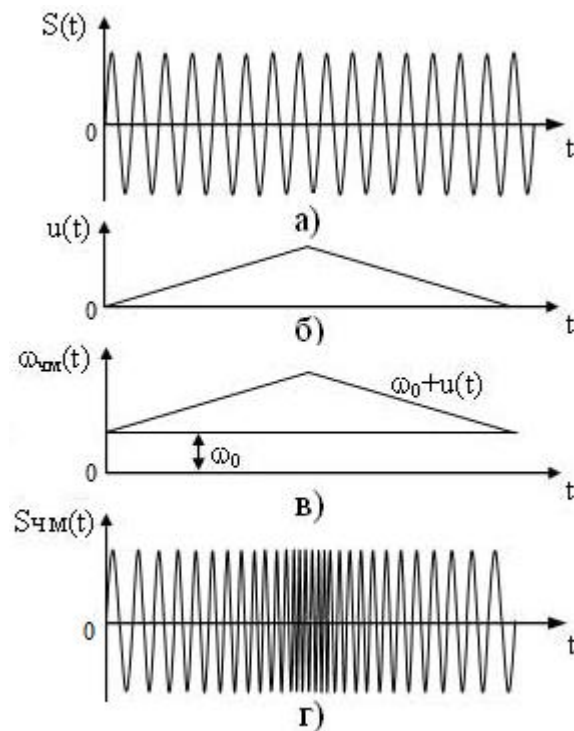


Рисунок 7.4 - Формирование ЧМ сигнала

Важной особенностью спектра ЧМ сигнала является то, что можно добиться отсутствия составляющей несущего сигнала или сделать ее амплитуду значительно меньше амплитуд информационных составляющих без дополнительных технических усложнений модулятора. Для этого необходимо подобрать такой индекс модуляции $M_{\text{чм}}$, при котором $J_0(M_{\text{чм}})$ будет равно нулю (в месте пересечения функции J_0 с осью $M_{\text{чм}}$), например $M_{\text{чм}}=2,4$.

Поскольку увеличение составляющих приводит к увеличению ширины спектра ЧМ сигнала, то значит, ширина спектра зависит от $M_{\text{чм}}$ (рисунок 9). Как видно из рисунка, при $M_{\text{чм}}=0,5$ ширина спектра ЧМ сигнала соответствует ширине спектра АМ сигнала и в этом случае частотная модуляция является *узкополосной*, при увеличении $M_{\text{чм}}$ ширина спектра увеличивается, и модуляция в этом случае является *широкополосной*. Для ЧМ сигнала

ширина спектра определяется

$$\Delta\omega_{\text{ЧМ}} = 2(1 + M_{\text{ЧМ}})\Omega \quad (7.5)$$

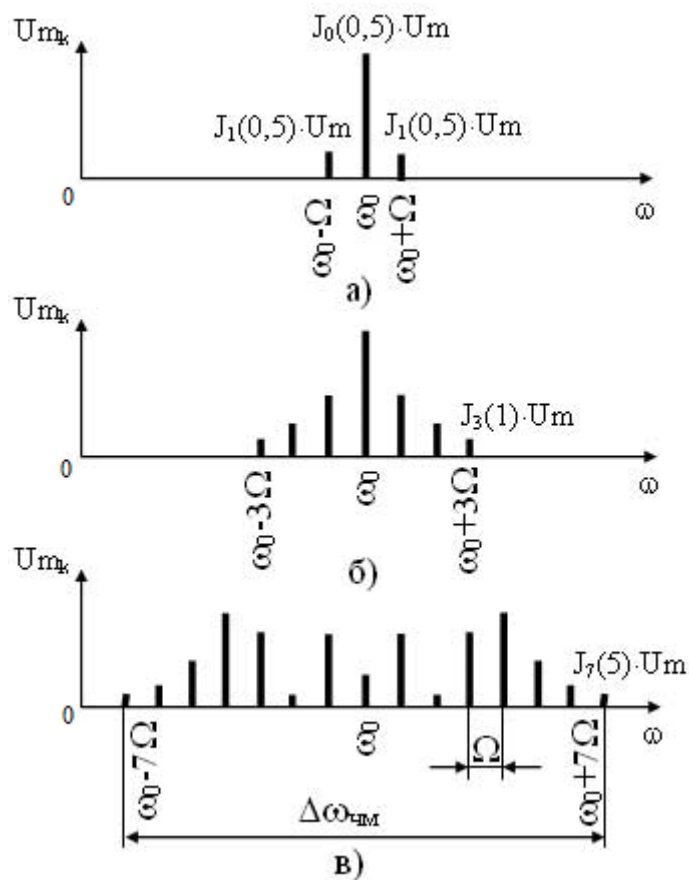


Рисунок 7.5 - Спектры ЧМ сигнала при гармоническом модулирующем сигнале и при различных индексах $M_{\text{ЧМ}}$: а) при $M_{\text{ЧМ}}=0,5$, б) при $M_{\text{ЧМ}}=1$, в) при $M_{\text{ЧМ}}=5$

Достоинством частотной модуляции являются:

- высокая помехоустойчивость;
- более эффективное использование мощности передатчика;
- сравнительная простота получения модулированных сигналов.

Основным недостатком данной модуляции является большая ширина спектра модулированного сигнала.

Частотная модуляция используется:

- в системах телевизионного вещания (для передачи сигналов звукового сопровождения);
- в системах спутникового теле- и радиовещания;
- в системах высококачественного стереофонического вещания (FM диапазон);
- в радиорелейных линиях (РРЛ);

- сотовой телефонной связи.

Фазовая модуляция — процесс изменения фазы несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями модулирующего сигнала.

Математическую модель ФМ сигнала при гармоническом модулирующем сигнале:

$$S_{\text{фм}}(t) = U_m \sin(\omega_0 t + a_{\text{фм}} U_{\text{му}} \sin \Omega t + \varphi_0) \quad (7.6)$$

Произведение $a_{\text{фм}} U_{\text{му}} = M_{\text{фм}}$ называется *индексом фазовой модуляции* или *девиацией фазы*.

Поскольку изменение фазы вызывает изменение частоты, то используя определяем закон изменения частоты ФМ сигнала:

$$\omega_{\text{фм}}(t) = d\Psi_{\text{фм}}(t)/dt = \omega_0 + a_{\text{фм}} U_{\text{му}} \Omega \cos \Omega t \quad (7.7)$$

Произведение $a_{\text{фм}} U_{\text{му}} \Omega = \Delta\omega_{\text{фм}}$ является девиацией частоты фазовой модуляции. Сравнивая девиацию частоты при частотной и фазовой модуляциях можно сделать вывод, что и при ЧМ и при ФМ девиация частоты зависит от коэффициента пропорциональности и амплитуды модулирующего сигнала, но при ФМ девиация частоты также зависит и от частоты модулирующего сигнала.

Временные диаграммы поясняющие процесс формирования ФМ сигнала приведены на рисунке 7.6.

При разложении математической модели ФМ сигнала на гармонические составляющие получится такой же ряд, как и при частотной модуляции (15), с той лишь разницей, что коэффициенты J_k будут зависеть от индекса фазовой модуляции $\Delta_{\text{фм}} (J_k(M_{\text{фм}}))$. Определяются эти коэффициенты будут аналогично, как и при ЧМ, т. е. по функциям Бесселя, с той лишь разницей, что по оси абсцисс необходимо заменить $M_{\text{чм}}$ на $M_{\text{фм}}$. Поскольку спектр ФМ сигнала строится аналогично спектру ЧМ сигнала, то для него характерны те же выводы что и для ЧМ сигнала.

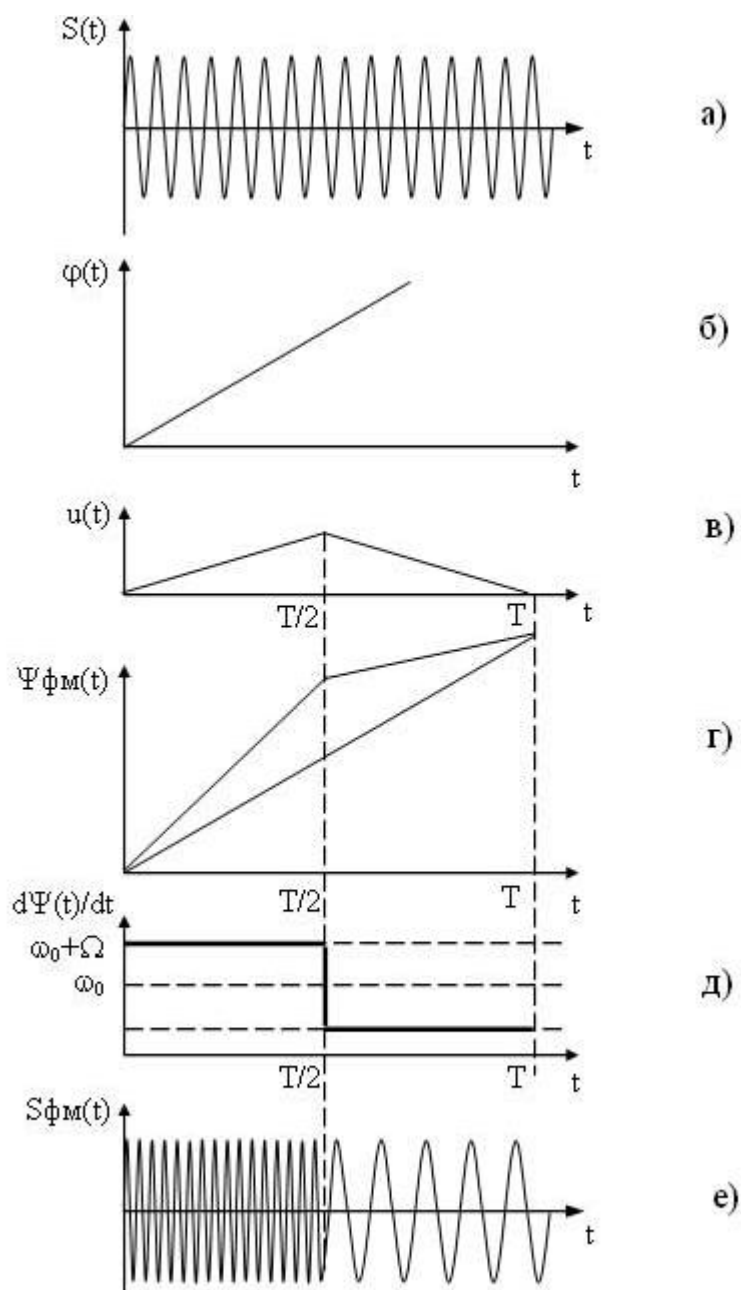


Рисунок 7.6 - Формирование ФМ сигнала

Ширина спектра ФМ сигнала определяется выражением:

$$\Delta\omega_{\text{фм}} = 2(1 + M_{\text{фмм}})\Omega \quad (7.8).$$

Достоинствами фазовой модуляции являются:

- высокая помехоустойчивость;
- более эффективное использование мощности передатчика.

недостатками фазовой модуляции являются:

- большая ширина спектра;
- сравнительная трудность получения модулированных сигналов и их

детектирование

Дискретная двоичная модуляция (манипуляция) — частный случай аналоговой

модуляции, при которой в качестве несущего сигнала используется гармоническая несущая, а в качестве модулирующего сигнала используется дискретный, двоичный сигнал.

Различают четыре вида манипуляции:

- амплитудную манипуляцию ($A_{МН}$ или $A_{МТ}$);
- частотную манипуляцию ($Ч_{МН}$ или $Ч_{МТ}$);
- фазовую манипуляцию ($\Phi_{МН}$ или $\Phi_{МТ}$);
- относительно-фазовую манипуляцию ($О\Phi_{МН}$ или $О\Phi_{М}$).

Временные и спектральные диаграммы модулированных сигналов при различных видах манипуляции представлены на рисунке 7.7.

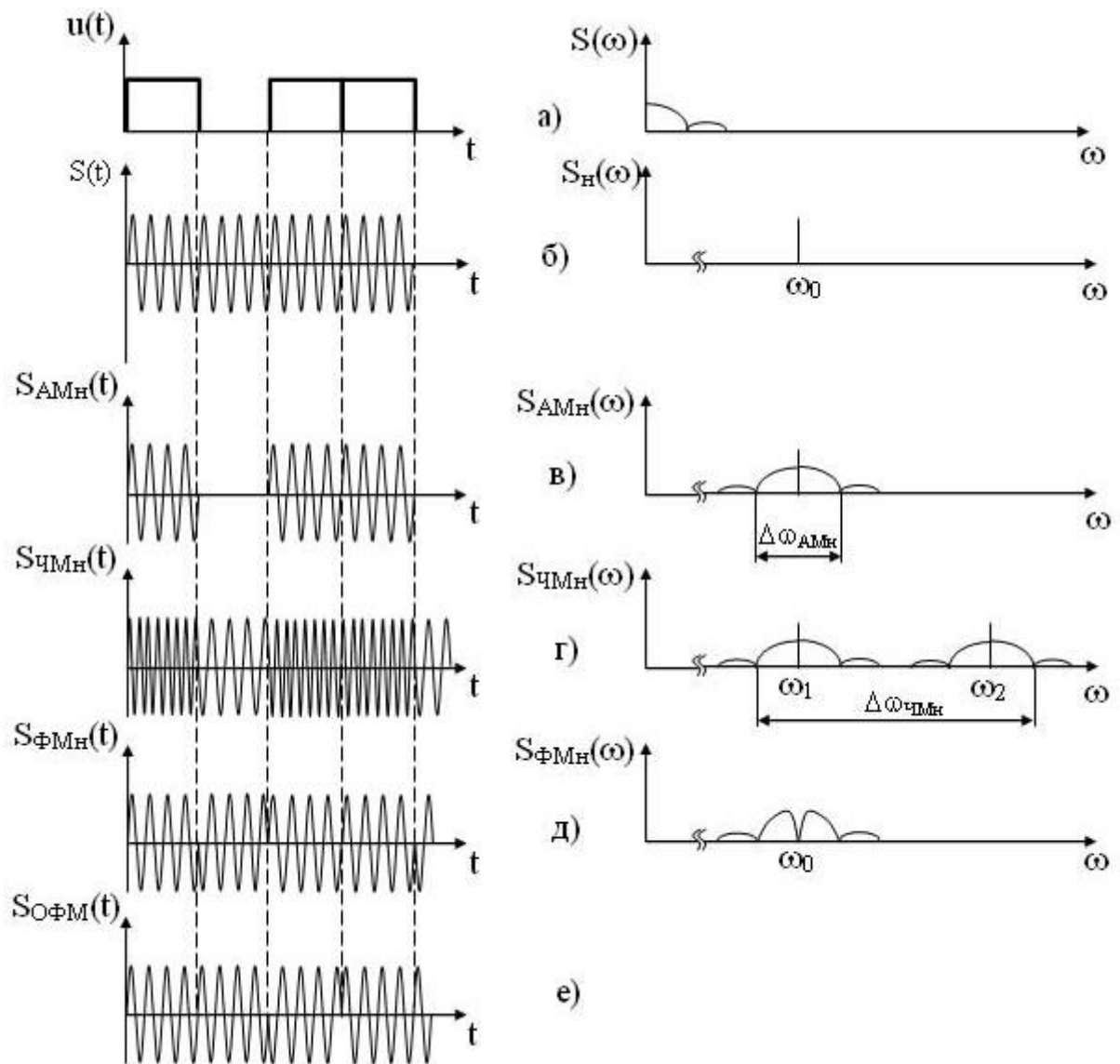


Рисунок 7.7 - Временные и спектральные диаграммы модулированных сигналов различных видов дискретной двоичной модуляции

При *амплитудной манипуляции*, также как и при любом другом модулирующем сигнале огибающая $SA_{Mn}(t)$ повторяет форму модулирующего сигнала (рисунок 7.7, в).

При *частотной манипуляции* используются две частоты ω_1 и ω_2 . При наличии импульса в модулирующем сигнале (посылке) используется более высокая частота ω_2 , при отсутствии импульса (активной паузе) используется более низкая частота ω_1 соответствующая немодулированной несущей (рисунок 7.7, г)). Спектр частотно-манипулированного сигнала $S_{чMn}(t)$ имеет две полосы возле частот ω_1 и ω_2 .

При *фазовой манипуляции* фаза несущего сигнала изменяется на 180° в момент изменения амплитуды модулирующего сигнала. Если следует серия из нескольких импульсов, то фаза несущего сигнала на этом интервале не изменяется (рисунок 7.7, д).

При *относительно-фазовой манипуляции* фаза несущего сигнала изменяется на 180° лишь в момент подачи импульса, т. е. при переходе от активной паузы к посылке (01) или от посылке к посылке (11). При уменьшении амплитуды модулирующего сигнала фаза несущего сигнала не изменяется (рисунок 11, е). Спектры сигналов при Φ_{Mn} и $O\Phi_{Mn}$ имеют одинаковый вид (рисунок 9, е).

Сравнивая спектры всех модулированных сигналов можно отметить, что наибольшую ширину имеет спектр $Ч_{Mn}$ сигнала, наименьшую — A_{Mn} , Φ_{Mn} , $O\Phi_{Mn}$, но в спектрах Φ_{Mn} и $O\Phi_{Mn}$ сигналов отсутствует составляющая несущего сигнала.

В виду большей помехоустойчивости наибольшее распространение получили частотная, фазовая и относительно-фазовая манипуляции. Различные их виды используются в телеграфии, при передаче данных, в системах подвижной радиосвязи (телефонной, транкинговой, пейджинговой).

3 Полосы пропускания радиолинии при цифровых сигналах

Полоса пропускания — это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала к входному сигналу превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5. Ширина полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи.

Связь между полосой пропускания линии и ее максимально возможной пропускной способностью, вне зависимости от принятого способа физического кодирования, установил Клод Шеннон. Формула Шеннона имеет вид:

$$C = \Delta F \log_2 (1 + P_c/P_w),$$

где C — максимальная пропускная способность линии в битах в секунду,

ΔF — ширина полосы пропускания линии в герцах,

P_c — мощность сигнала,

$P_{ш}$ — мощность шума.

Близким, по сути, к формуле Шеннона является другое соотношение, полученное Найквистом, которое также определяет максимально возможную пропускную способность линии связи, но без учета шума в линии:

$$C = 2F \log_2 M.$$

где M — количество различных состояний информационного параметра.

Если сигнал имеет два различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи. Если же в передатчике используется более двух устойчивых состояний сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы передатчик передает несколько битов исходных данных, например 2 бита при наличии четырех различных состояний сигнала.

При амплитудной манипуляции (АМ) представляющим (модулируемым) параметром радиосигнала является его амплитуда. В настоящее время применяется лишь двоичная АМ. Радиосигнал с АМ

$$u_{AM}(t) = U_0 \sum_{k=0}^n u_k \cdot z_k(t - k \cdot T) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_k),$$

где U_0 - амплитуда немодулированного синусоидального колебания,

$u_k = 0; 1$, — элемент исходного двоичного (модулирующего) сигнала,

T — длительность элемента исходного двоичного цифрового сигнала,

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$; φ_k — случайная начальная фаза k -го радиоимпульса.

Минимальная полоса частот Π_{AM} , необходимая для передачи АМ радиосигнала, численно равна скорости передачи цифровой информации B (частоте следования передаваемых элементов исходного двоичного сигнала):

$$\Pi_{AM} = B = 1/T.$$

Эффективность использования полосы частот характеризуется максимальной удельной скоростью передачи при двоичной АМ, бит/с/Гц, $S_{AM} = B / \Pi_{AM} = 1$.

При фазовой манипуляции (ФМ) представляющим параметром радиоимпульсов является фаза высокочастотного заполнения. В современных радиосистемах передачи применяются двоичная, 4-уровневая и M -уровневая ФМ. При демодуляции фаза ФМ

радиосигнала сравнивается с фазой восстановленного на приемном конце опорного колебания (несущей). Из-за случайных искажений радиосигнала имеет место неопределенность фазы восстановленной несущей, что является причиной, так называемой обратной работы, при которой двоичные посылки принимаются «>в негативе». Для устранения влияния неопределенности фазы применяется разностное кодирование фазы передаваемых радиоимпульсов. Фазовую манипуляцию с разностным кодированием фазы называют фазоразностной или относительной фазовой манипуляцией ОФМ. В РСП с ОФМ при передаче информации кодируется не сама фаза радиосигнала, а разность фаз (фазовый сдвиг) двух соседних радиоимпульсов.

В общем случае радиосигнал с М-уровневой ОФМ

$$u_{\text{ОФМ}}(t) = U_0 \sum_{k=0}^n z_k(t - k \cdot \tau) \cdot \cos(\omega_0 t + \Delta\varphi_k + \varphi_{k-1}),$$

$$\text{где } z_k(t - k\tau) = \begin{cases} 1 & k\tau < t \leq (k+1)\tau, \\ 0 & t \leq k\tau, t > (k+1)\tau, \end{cases} k = 0, 1, 2, \dots,$$

$\tau = T \cdot \log_2 M$ – длительность радиоимпульса,

$$\Delta\varphi_k = \frac{2\pi V_k}{M}, V_k = 0, 1, \dots, M-1.$$

Ширина спектра ОФМ радиосигнала зависит от скорости передачи информации и числа уровней манипуляции. Необходимая для ОФМ радиосигнала минимальная полоса пропускания

$$\Pi_{\text{ОФМ}} = \frac{B}{\log_2 M},$$

$$\Pi_{\text{ОФМ}} = \frac{(1,1 \dots 1,2) \cdot B}{\log_2 M}.$$

Таким образом, при увеличении числа уровней манипуляции полоса частот, необходимая для ОФМ радиосигнала, уменьшается. Так, при ОФМ-4 полоса частот вдвое меньше, чем при ОФМ-2 при одинаковой скорости передачи информации. Максимальная эффективность использования полосы частот при ОФМ

$$S_{\text{ОФМ}} = \frac{B}{\Pi_{\text{ОФМ}}} = \log_2 M.$$

Частотная манипуляция (ЧМ). Представляющим параметром при ЧМ является частота радиосигналов. В РСП применяются двоичная, 3-уровневая (при использовании квазитроичных кодов), 4-уровневая и 8-уровневая ЧМ.

Радиосигнал с ЧМ

$$u_{\text{ЧМ}}(t) = U_0 \sum_{k=0}^n z_k(t - k \cdot \tau) \cdot \cos[2\pi(f_0 + V_k F_M)t + \varphi_k],$$

$$\text{где } \tau = \begin{cases} \text{T} & \text{при } M = 2; 3; \\ \text{T} & \text{при } M = 4; \\ \text{3T} & \text{при } M = 8; .. \end{cases} \quad V_k = \begin{cases} \pm 1 & \text{при } M = 2; \\ 0; \pm 2 & \text{при } M = 3; \\ \pm 1; \pm 3 & \text{при } M = 4; \\ \pm 1; \pm 3; \pm 5; \pm 7 & \text{при } M = 8; \end{cases}$$

F_M — вспомогательная частота, определяющая разность частотных уровней при ЧМ и зависящая от M ; φ_k — случайная начальная фаза.

Полоса частот, необходимая для передачи ЧМ радиосигнала ПЧМ, и эффективность ее использования $S_{\text{ЧМ}}$ зависят от скорости передачи информации B , числа уровней M и максимальной девиации частоты.

При $M = 2, 4, 8$

$$P_{\text{ЧМ}} = \frac{B}{\log_2 M} + 2\Delta f_M,$$

$$S_{\text{ЧМ}} = \frac{B}{P_{\text{ЧМ}}} = \frac{\log_2 M}{(1 + 2M_M)},$$

$$M_M = \frac{\Delta f_M \cdot \log_2 M}{B},$$

где Δf_M — максимальная девиация частоты, зависящая от M ,

M_M — максимальный индекс ЧМ.

При 3-уровневой ЧМ ($M = 3$) с использованием квазитроичных сигналов с чередованием полярностей Пчм и $S_{\text{ЧМ}}$ определяются выражениями

$$P_{\text{ЧМ}} = B + 2\Delta f_3; \quad S_{\text{ЧМ}} = \frac{1}{(1 + 2M_3)},$$

где $M_3 = \Delta f_3 / B$.

Отчет по работе:

- тема, цель занятия;
- краткие теоретические сведения;
- расчёт полосы пропускания радио тракта.

Исходные данных для расчета по вариантам представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Исходные данные для расчетов

Номер варианта	Тип цифрового потока	Вид модуляции	Вид сигнала	Уровень сигнала, дБм	Уровень шума
1	E1	АМ, ЧМ-3	ТЛГ	40	-55
2	E2	АМ, ОФМ-2	ТЛФ	30	-60
3	E3	АМ, ОФМ-4	РВ	20	-65
4	E4	АМ, ОФМ-8	ТВ	10	-70
5	Eht	АМ, ОФМ-16	ТЛГ	0	-75

6	ЕF	АМ, ОФМ-64	ТЛФ	-10	-80
7	АТМ	ЧМ-3, ОФМ2	РВ	-20	-85
8	Е1	ЧМ-4, ОФМ-4	ТВ	-30	-90
9	Е2	ЧМ-8, ОФМ-4	ТЛФ	-40	-95
10	Е3	АМ-3, ЧМ3	ТВ	-50	-100

Контрольные вопросы:

1. Состав системы радиосвязи.
2. Диапазон длин волн, используемый при передаче данных.
3. Стандарты, определяющие беспроводную передачу данных.
4. Амплитудно-частотная характеристика.
5. Пропускная способность радио тракта.
6. Элементная база, используемая при построении радио тракта.

Список рекомендованных источников

1. Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.П. Попантонопуло, В.Н. Шувалов - Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3томах. Том 2 – Радиосвязь, радиовещание, телевидение под ред. профессора В.П. Шувалова - М.: Горячая линия - Телеком, 2014.
2. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин и др.; Под ред. Н.Н. Фомина. – 3-е издание, стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
3. С. И. Дингес - Радиопередающие устройства систем связи с подвижными объектами: Учебное пособие. - М.: МТУСИ, 2014.
4. А.В. Велигоша, Г.И. Линец - Устройства приема и обработки радиосигналов. Часть 1: Учебное пособие - Ставрополь: СКФУ, 2014.
5. В.А. Ворона - Радиопередающие устройства. Основы теории и расчета: Учебное пособие - М.: Горячая линия - Телеком, 2011.
6. Волков Л. Н., Немировский М.С., Шинков Ю. С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2005.

Практическое занятие № 8

Тема: Расчет протяженности радиолинии

Цель работы: Закрепить теоретические знания и получить навыки расчета протяженности радиолинии

Постановка задачи:

1. Изучить особенности распространения радиоволн различных диапазонов.
2. Рассчитать протяженности радиолинии в СВЧ диапазоне.

1 Краткие теоретические сведения

Радиоволны с длиной волны более 1 километра имеют отличительную особенность - способность хорошо огибать Землю при своем распространении. Поэтому волны этой части диапазона способны распространяться далеко за пределами прямой видимости. Конечно, при удалении излучающей антенны за линию горизонта сигнал будет значительно ослаблен, но, в общем, в этом диапазоне частот может быть обеспечена достаточно уверенная связь на расстояниях в сотни и тысячи километров.

Радиоволны, которые распространяются вдоль поверхности Земли, называют земными или поверхностными волнами. В этом диапазоне частот, кроме поверхностных волн, для связи используют и пространственные волны. Пространственными (ионосферными, небесными) называют такие волны, которые, будучи излученными от поверхности Земли, отразятся от ионосферы и вновь вернуться на Землю. Траектория распространения пространственной волны, вернувшейся на Землю после отражения от ионосферы, называется скачком. Электромагнитные волны нижней части радиодиапазона также хорошо отражаются от поверхности Земли (то есть с малыми потерями). Отраженные от Земли радиоволны при достижении ионосферы повторно отражаются от ее нижних слоев, образуя следующий скачок.

Таким образом, упрощенную модель среды распространения длинных и сверхдлинных радиоволн можно представить в виде двух электропроводящих сфер с совмещенными центрами. Радиоволны распространяются в промежутке между этими сферами, попеременно отражаясь то от внешней, то от внутренней сферы. Земля вместе с нижней границей ионосферы образуют для этого диапазона своеобразный сферический волновод. В этом волноводе формируется траектория многоскачкового распространения

радиоволн (рисунок 8.1).

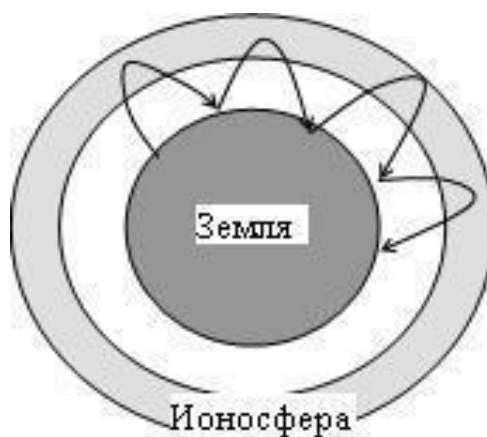


Рисунок 8.1 - Распространение длинных радиоволн пространственными лучами

Изменения свойств ионосферы сказываются не столь существенно для этого диапазона радиоволн, поэтому связь на этих частотах достаточно устойчива даже на далеких расстояниях и слабо зависит от времени суток.

Высокая стабильность распространения радиоволн этого диапазона используется, например, радиопередатчиками службы точных частот и времени, сигналы которых используются в системах связи всех диапазонов частот.

Особенности распространения электромагнитных колебаний самой нижней части радиодиапазона. Поскольку величина потерь при распространении радиоволн в среде с потерями (почва, вода, ионизированные газы и т.д.) уменьшается с увеличением длины волны, то и глубина проникновения радиоволн в эту среду увеличивается с увеличением длины волны. Эта особенность распространения радиоволн используется, например, для связи с подводными лодками, погруженными на глубину в сотни метров от поверхности океана. Для такого (единственно возможного) вида радиосвязи используют очень низкие частоты (очень длинные волны), что требует больших размеров антенн и высоких мощностей радиопередатчиков.

Радиоволны с длиной волны от 100 до 1000 метров так же, как и более длинные, распространяются и поверхностными, и пространственными волнами, но их распространение имеет свои особенности. Влияние нестабильностей параметров ионосферы на распространение радиоволн этого диапазона становится все заметнее, и длина пути, проходимого пространственной волной в точку приема, в разное время года и суток оказывается разной.

Днем в этом диапазоне волн на расстояниях до нескольких сотен километров для связи используются поверхностные волны. С увеличением частоты колебаний требуется

более высокая концентрация заряженных частиц ионосферы для формирования отраженной волны, при этом радиоволны проникают во все более высокие слои атмосферы. Но с увеличением длины пути, проходимой радиоволной в ионосфере, возрастают ее потери. Радиоволны этого диапазона достигают слой E ионосферы и возвращаются к Земле. Днем более низкий слой D имеет высокую концентрацию и вызывает значительное ослабление радиоволн, поэтому пространственные волны этого диапазона весьма слабы.

Ночью дальность связи может быть увеличена за счет того, что ночью слой D практически исчезает. Ослабление радиоволны в ионосфере значительно уменьшается и влияние пространственной волны в этом диапазоне становится заметнее. В конечном итоге это приводит к тому, что на больших дальностях в местах приема может наблюдаться эффект замирания, или фединга, проявляющийся в изменении уровня принимаемого сигнала. Основной причиной замирания сигналов является интерференция пространственной и поверхностной волн. На рисунке 8.2 показаны условные пути прохождения в точку, достаточно удаленную от излучающей антенны, поверхностной радиоволны 1 и пространственной радиоволны 2. Так как длина пути, который проходят радиоволны, может постоянно изменяться, то непрерывно изменяются и фазы приходящих сигналов.

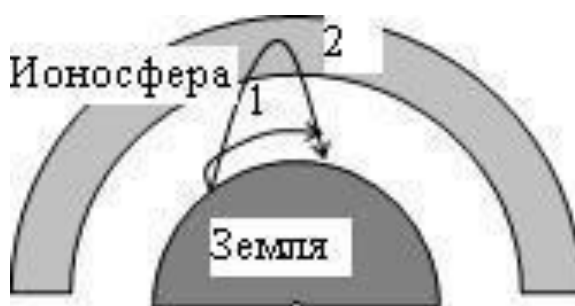


Рисунок 8.2 - Распространение поверхностных и пространственных радиоволн

Результат сложения двух сигналов одной частоты, но с различными фазами, изменяется от максимального значения (когда фазы приходящих колебаний совпадают) до минимального (когда фазы этих сигналов противоположны). Если мощности колебаний, приходящих с различных направлений, приблизительно одинаковы, то уровень принимаемого сигнала, образуемого в результате интерференции, может спадать практически до нуля.

Вблизи передатчика, где присутствуют, в основном, поверхностные волны, эффект замирания практически отсутствует. На больших расстояниях, где возможно

распространение и пространственной, и поверхностной волны, ночью связь может улучшаться, но со значительными замираниями. И на очень больших расстояниях, куда практически не достигает земная волна, ночью возможен прием пространственной волны.

Радиоволны с длиной волны от 10 до 100 метров распространяются также в виде пространственной и поверхностной волн, но с ростом частоты еще более возрастает поглощение Землей энергии поверхностных волн, и они ослабевают быстрее. Поэтому в коротковолновом радиодиапазоне распространение поверхностных волн ограничивается практически пределами прямой видимости. Далее простирается зона молчания, где невозможен уверенный прием сигналов.

В диапазоне декаметровых волн также возможен эффект замирания. Причиной его также является интерференция, но уже двух или более пространственных лучей, приходящих в точку приема разными путями.

На рисунке 8.3 показан ход лучей декаметровых волн, излученных из точки А. Волны этого диапазона еще глубже проникают в ионосферу. Граница распространения земных волн обозначена точкой В. В точку С поступают пространственные волны после первого отражения от ионосферы. Пояс земной поверхности между точками В и С образует зону молчания. В этой зоне поверхностные волны уже настолько ослаблены, что не могут быть использованы для связи, а отраженные от ионосферы волны достигают поверхности Земли на гораздо большем удалении от передатчика. На еще большем удалении от точки излучения А возможен приход волны после двукратного отражения от ионосферы. Если в этот же пункт приема приходит другая пространственная волна, например, после однократного отражения от ионосферы, то в точке приема D наблюдается интерференция сигналов и, как следствие ее, - замирание во время приема.

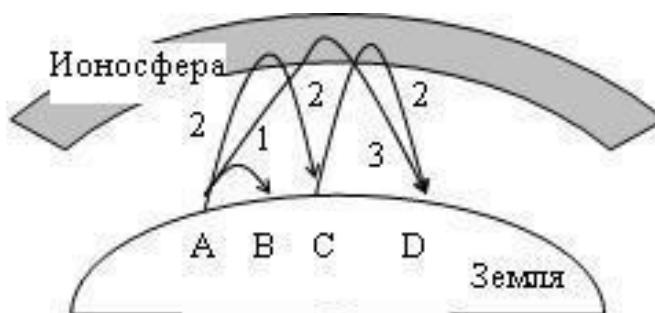


Рисунок 8.3 - Распространение дека метровых радиоволн

Радиоволны, длина которых менее 10 метров, практически не обладают дифракцией, то есть не могут огибать препятствия на пути распространения. Концентрация заряженных частиц в ионосфере недостаточна для значительного влияния

на траекторию распространения радиоволн этого диапазона, поэтому радиоволны практически не отражаются от ионосферы. С одной стороны, это делает невозможной дальнюю связь на поверхности Земли за пределами прямой видимости, с другой стороны, позволяет использовать радиоволны этого диапазона для спутниковой связи.

Таким образом, основные характеристики распространения электромагнитных колебаний ультракоротковолнового (УКВ) диапазона определяют возможной связь в этом диапазоне в пределах прямой видимости между передающей и приемной антеннами. Для увеличения дальности связи антенны устанавливают на высокие опоры (рисунок 8.4).

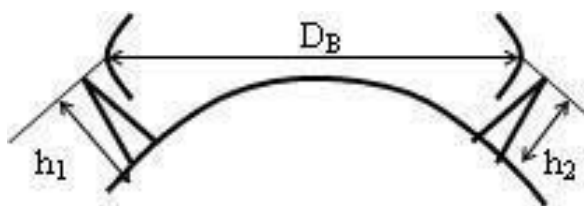


Рисунок 8.4 - Максимальная дальность связи на ультракоротких волнах

Максимальная дальность связи D_B (с учетом только шарообразной формы Земли, без уточнения рельефа местности) определяется высотами поднятия передающей и приемной антенн, соответственно h_1 и h_2 , и радиусом Земли R_3 :

$$D_B = \sqrt{2R_3}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (8.1)$$

При использовании этой эмпирической формулы максимальное расстояние прямой видимости D_B и радиус Земли R_3 следует выражать в километрах, а высоты поднятия антенн h_1 и h_2 - в метрах.

В этом диапазоне волн также возможна интерференция сигналов, но уже с отраженными сигналами от Земли или других неровностей рельефа либо строений. На рисунке 8.5 условно показан ход лучей прямой и отраженной от поверхности Земли волн.

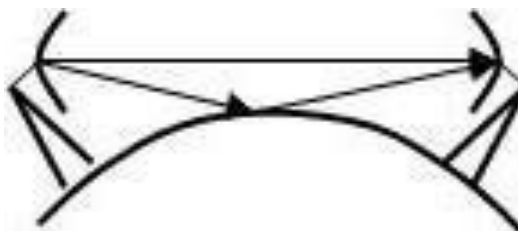


Рисунок 8.5 - Распространение прямой и отраженной волн УКВ

При достаточно большой мощности передатчика связь за горизонтом возможна и в этом диапазоне волн. Дальняя связь за пределами прямой видимости оказывается

возможной благодаря тому, что в атмосфере Земли по ряду причин могут возникать локальные неоднородности. Эти неоднородности и вызывают рассеяние радиоволн, в том числе и в направлении пункта приема. При достаточной чувствительности приемного устройства может быть организована радиосвязь в труднодоступных районах на расстоянии нескольких сотен километров.

На рисунке 8.6 представлена схема возможной связи с использованием рассеяния радиоволн на неоднородностях атмосферы.

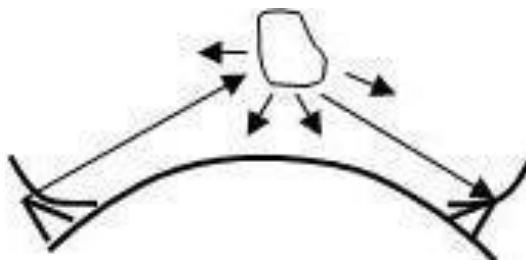


Рисунок 8.6 - Рассеяние радиоволн от неоднородностей атмосферы

2 Расчет протяженности радиолинии в СВЧ диапазоне

Протяженности радиолинии в СВЧ диапазоне определяется условием прямой видимости и энергетическим бюджетом радиолинии. Прямая видимость определяется рельефом местности и высотой подвеса антенн (выражение 8.1 – при гладкой поверхности).

Энергетический бюджет (выражение 8.2), определяемый характеристиками приемопередающего устройства, и затухание в свободном пространстве (выражение 8.3) также определяют протяженность РРЛ.

$$\mathcal{E} = P_{\text{пд}} - P_{\text{прм}} + G_1 + G_2 \dots \dots \dots (8.2)$$

где $P_{\text{пд}}$ - уровень мощности передатчика, дБм;

$P_{\text{прм}}$ - уровень чувствительности приемника, дБм;

G_1, G_2 - коэффициенты усиления передающей и приемной антенн.

Для параболических структур коэффициенты усиления определяются из соотношения:

$$G = 20 \text{ Lg}(D) + 20 \text{ Lg}(f) + 17.5, \text{ дБ} \quad (8.3)$$

где D - диаметр антенны 0,3 – 2,4 , м,

f - рабочая частота, ГГц.

Потери в свободном пространстве определяются по формуле

$$L_0 = 20 \cdot \text{Lg} \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot R} \right), \text{ дБ} \quad (8.4)$$

где R - протяженность интервала РРЛ, м,

λ - рабочая длина волны, м.

Из выражения (8.4) можно определить протяженность интервала РРЛ. Потери в свободном пространстве должны быть меньше энергетического бюджета, то есть

$$R = \Delta P - \Delta P,$$

где ΔP – энергетический запас, который можно принять в 20 дБ.

Технические характеристики РРС приведены в таблице 8.1.

Таблице 8.1 Технические характеристики ЦРРС МИК-РЛ 4...15PM

Тип РРС МИК-РЛ	6PM	7PM	8PM	11PM	13PM	15PM
Диапазон частот, ГГц	5,925-6,425	7,25-7,55	7,9-8,40	10,70-11,70	12,75-13,25	14,50-15,35
Рекомендация ИТУ-R	F.383	F.385	F.386	F.387	F.497	F.636
Дуплексный разнос, МГц	266	161	266	530	266	420
Число поддиапазонов	2(н)+2(в)	5(н)+5(в)	3(н)+3(в)	2(н)+2(в)	3(н)+3(в)	2(н)+2(в)
Ширина поддиапазона, МГц	112	35	90	243	85	231

Передатчик					
Тип РРС МИК-РЛ		6PM / 7PM / 8PM / 11PM		13PM / 15PM	
Выходная мощность, дБм, при модуляции	QPSK	+30		+29	
	16QAM	+28		+26	
Регулировка мощности		0...-20 дБ, с шагом 1 дБ ручная / автоматическая			
Нестабильность частоты		$\pm 5 \times 10^{-6}$			
Побочные излучения, дБм		-60			

Приемник										
Тип РРС МИК-РЛ			6PM / 7PM / 8PM / 11PM / 13PM				15PM			
Чувствительность приемника, дБм, при модуляции ($K_{0ш} \leq 10^{-6}$)	Ширина полосы спектра, МГц		3,5	7	14	28	3,5	7	14	28

	QPSK	-95	-92	-89	-86	-94	-91	-88	-85
	16QAM	-88	-85	-82	-79	-87	-84	-81	-78
Максимальный уровень сигнала на входе приемника, дБм, при модуляции	QPSK	-10 ($K_{\text{ош}} \leq 10^{-3}$)							
	16QAM	-14 ($K_{\text{ош}} \leq 10^{-3}$)							
Допустимый уровень интерференции (деградация на 3дБ), дБ по каналу, при модуляции	Канал	Совмещенный			Соседний				
	QPSK	19			-3				
	16QAM	26			-4				
Остаточный коэффициент ошибок в потоке E1		$\leq 10^{-10}$							
Динамический диапазон АРУ, дБ		≥ 50							

Отчет по работе:

- тема, цель занятия;
- краткие теоретические сведения;
- расчёт протяженности РРЛ.

Исходные данных для расчета по вариантам представлены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Исходные данные для расчетов

Номер варианта	$P_{\text{пд}}$, дБм	$P_{\text{прм}}$, дБм	D, м	ΔP , дБм	h_1 , м	h_2 , м
1	26	-78	1.0	20	10	12
2	28	-80	1.2	25	15	16
3	29	-82	1.4	30	20	20
4	30	-84	0.8	35	25	24
5	24	-88	0.6	40	30	26
6	22	-92	1.6	20	12	30
7	20	-76	1.8	25	16	12
8	26	-80	2.0	30	24	14
9	28	-84	2.2	35	28	18
10	30	-86	2.4	40	32	22

Контрольные вопросы:

1. Состав системы радиосвязи.

2. Диапазон длин волн, используемый при передаче данных.
3. Стандарты, определяющие беспроводную передачу данных.
4. Амплитудно-частотная характеристика.
5. Пропускная способность радио тракта.
6. Элементная база, используемая при построении радио тракта.
7. Типы СВЧ антенн.

Список рекомендованных источников

1. Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.П. Попантопуло, В.Н. Шувалов - Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3-томах. Том 2 – Радиосвязь, радиовещание, телевидение под ред. профессора В.П. Шувалова - М.: Горячая линия - Телеком, 2014.
2. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин и др.; Под ред. Н.Н. Фомина. – 3-е издание, стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
3. С. И. Дингес - Радиопередающие устройства систем связи с подвижными объектами: Учебное пособие. - М.: МТУСИ, 2014.
4. А.В. Велигоша, Г.И. Линец - Устройства приема и обработки радиосигналов. Часть 1: Учебное пособие - Ставрополь: СКФУ, 2014.
5. В.А. Ворона - Радиопередающие устройства. Основы теории и расчета: Учебное пособие - М.: Горячая линия - Телеком, 2011.
6. Волков Л. Н., Немировский М.С., Шинков Ю. С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2005.