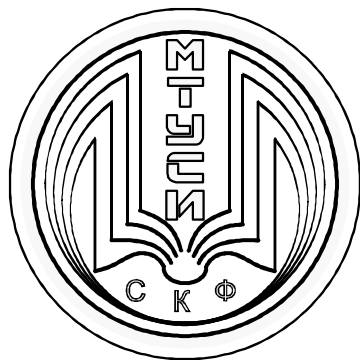


МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»



Кафедра «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Методические указания
к выполнению практических занятий по дисциплине

«Введение в специальность»

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

Ростов-на-Дону
2022

УДК

Составитель: доценты 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 «Введение в специальность».

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 «Единая сеть электросвязи Российской Федерации»	6
3	Практическое занятие № 2	
	Тема: «Телефонный аппарат (ТА)»	17
4	Практическое занятие № 3	
	Тема: «Обобщенные характеристики сигналов и каналов»	30
5	Практическое занятие № 4	
	Тема: «Формирование группового сигнала электросвязи»	46
6	Практическое занятие № 5	
	Тема: «Расчет параметров проводных линий связи»	53
7	Практическое занятие № 6	
	Тема: «Построение систем коммутации каналов»	67

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

Единая сеть электросвязи Российской Федерации

Цель работы: Изучить принципы построения Единой сети электросвязи Российской Федерации

Задание:

1. Изучить состав Единой сети электросвязи Российской Федерации 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 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, зоновой, местной) телефонной связи или узлов сетей подвижной радиотелефонной связи и (или) узла (узлов) сетей фиксированной (междугородной и международной, зоновой, 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 зонавой телефонной связи.

2.1.3 Требования к построению сети фиксированной зонавой 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 зонной 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 зонной телефонной связи и (или) имеющей присоединение к сети (сетям) фиксированной зонной 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

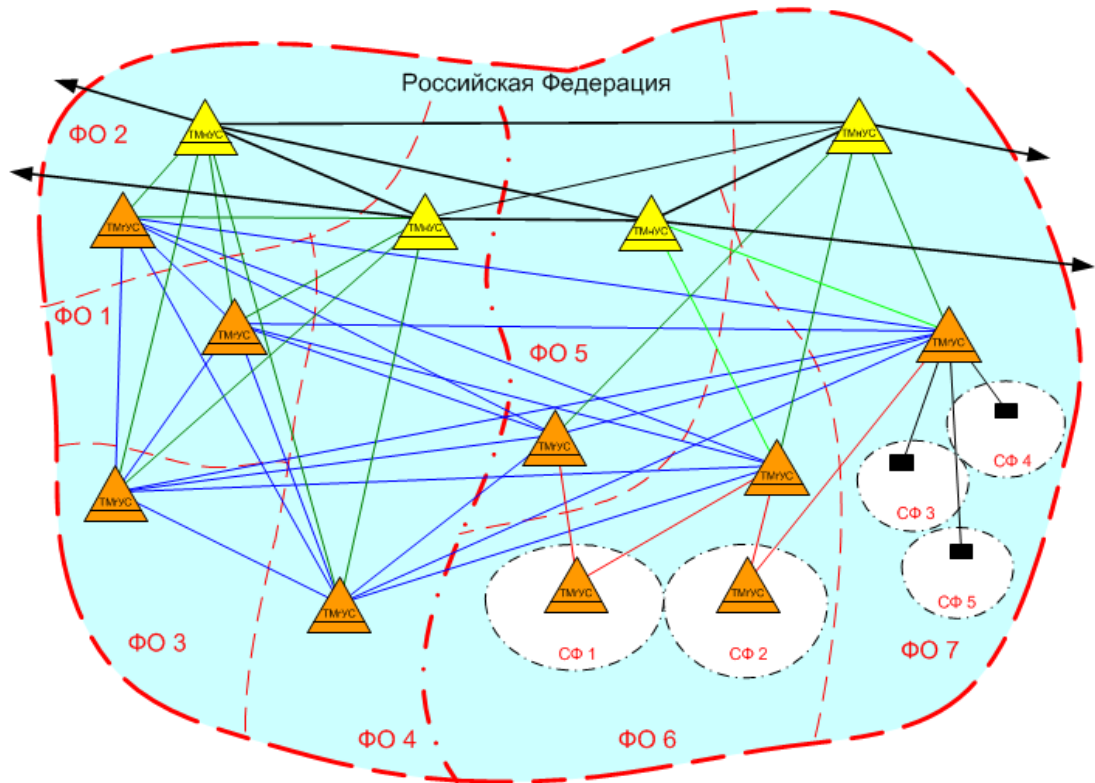


Рисунок 1.1 - Сети междугородной и международной телефонной связи

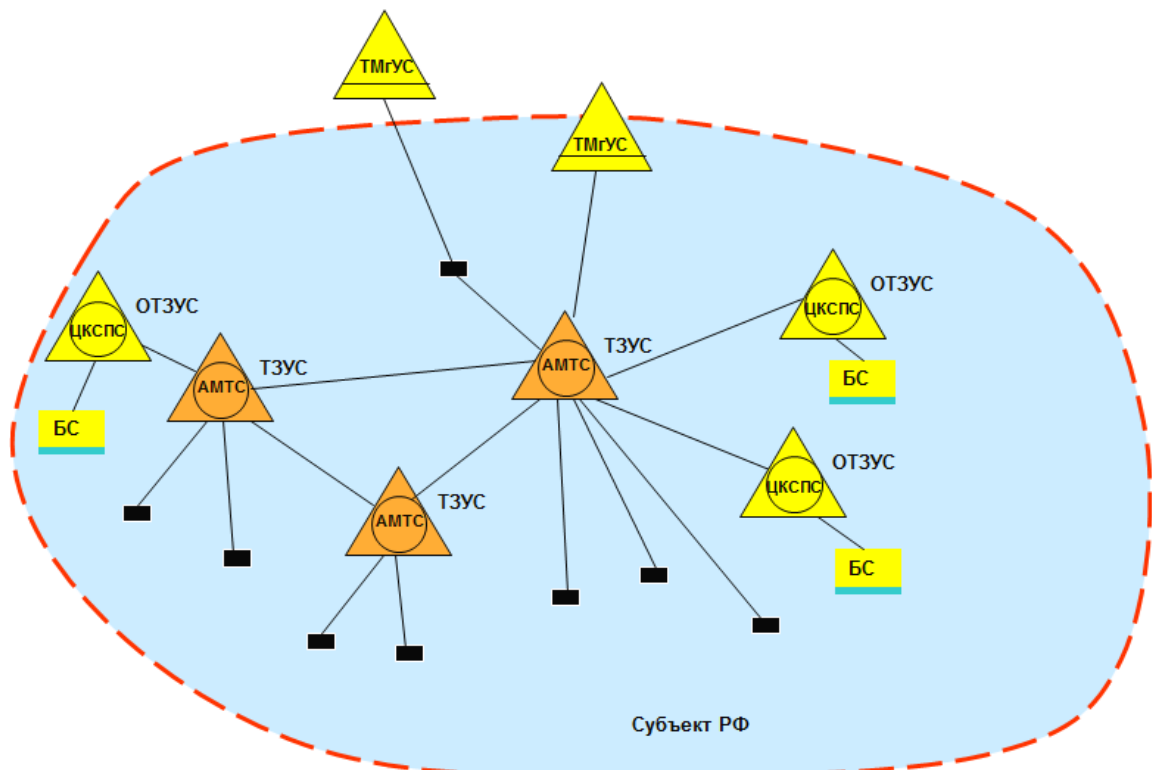


Рисунок 1.2 - Сеть фиксированной зонавой телефонной связи

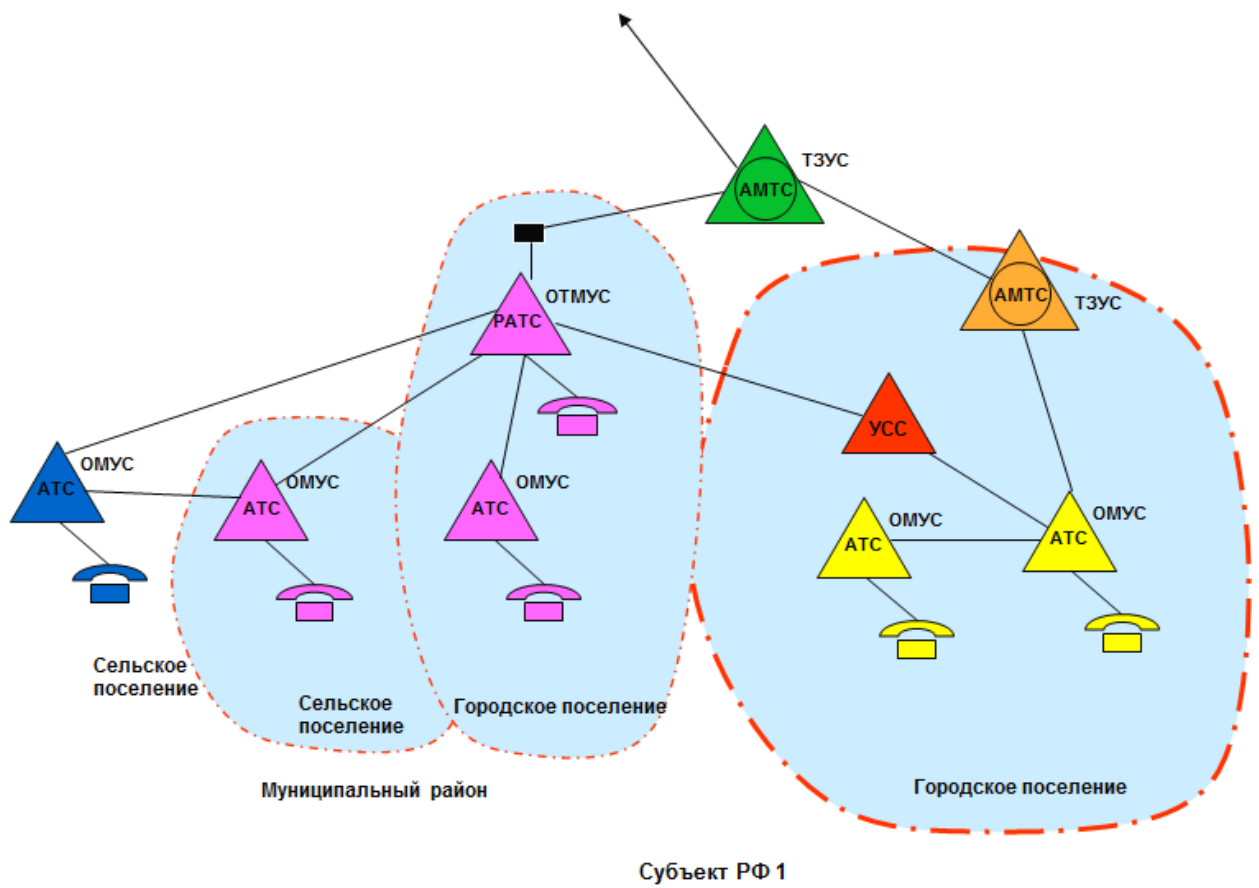


Рисунок 1.3 - Сеть местной телефонной связи

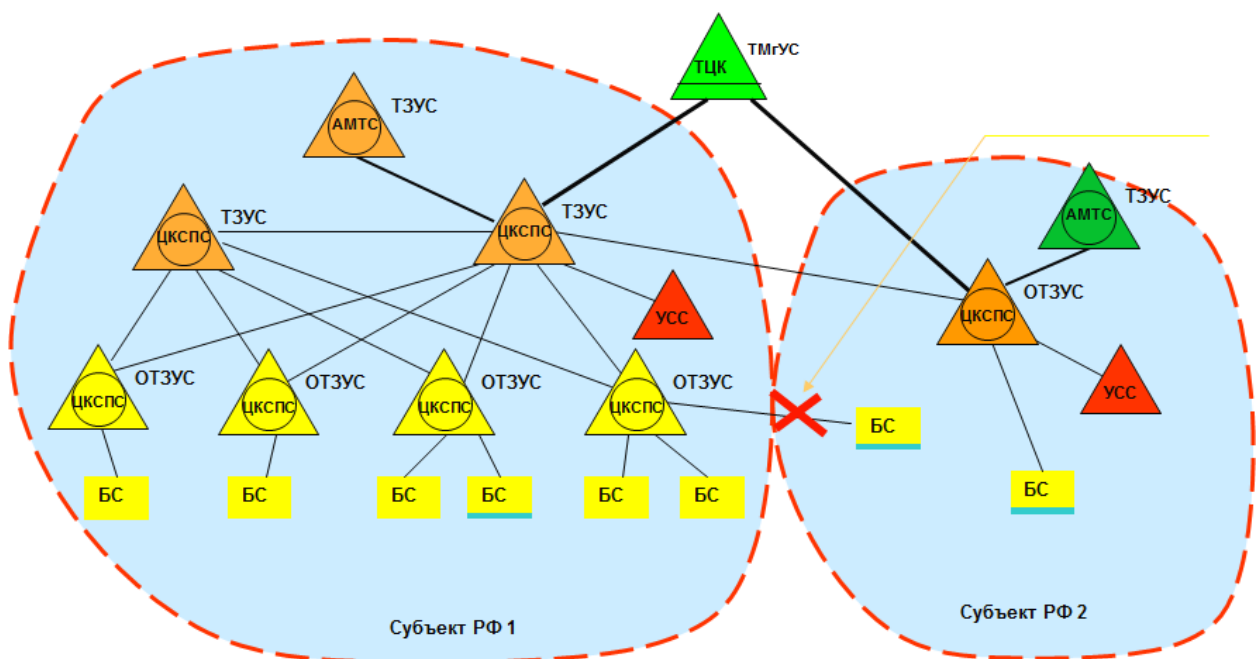


Рисунок 1.4 - Сеть подвижной радиотелефонной связи

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 Единой 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: Телефонный аппарат (ТА)

Цель ПЗ: Изучить устройство ТА и определить время набора номера в различных режимах

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 телефонетрические 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 замыкания и размыкания линии. В современных телефонных аппаратах применяют механические и электронные номеронабиратели. Дисковый механический

номерабираетель имеет диск с десятью отверстиями. При вращении диска по часовой стрелке заводится пружина механизма номерабираетеля. После отпускания диска он вращается в обратную сторону под действием пружины, при этом происходит периодическое замыкание 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 замыканий импульсных контактов всегда выбирается на одно-два больше, чем требуется подать импульсов в линию. Этим обеспечивается гарантированная пауза между пакетами 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 номерабираетеля. Имеются также контакты, замыкающие телефон при наборе номера, чтобы исключить неприятные щелчки. Частота импульсов, формируемых номерабираетелем, должна составлять (10 ± 1) имп./с. Число проводов, соединяющих номерабираетель с другими элементами телефонного аппарата, может быть 3 — 5.

Электронные номерабиратели, 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 номерабиратели предоставляют пользователям различные удобства, экономящие время: запоминание последнего набранного номера, возможность запоминания нескольких десятков номеров и др. Питание электронных номерабирателей 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 номерабираетеля в рабочем состоянии (трубка снята). Рычажный переключатель представляет собой группы из нескольких переключающих контактов, срабатывающих при снятии телефонной трубки.

Кроме перечисленных элементов в состав телефонного аппарата входят также резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы, образующие разговорную цепь аппарата.

При работе телефонного аппарата в разговорном режиме возникает местный

эффект, т.е. прослушивание собственной речи в телефоне аппарата. Местный эффект объясняется тем, что ток, протекающий через микрофон, поступает не только в абонентскую линию, но и в собственный телефон. Для устранения этого нежелательного явления в современных телефонных аппаратах используют противоместные устройства.

Существуют различные типы подобных устройств. Рассмотрим одно из них — противоместное устройство мостового типа (рисунок 2.1).

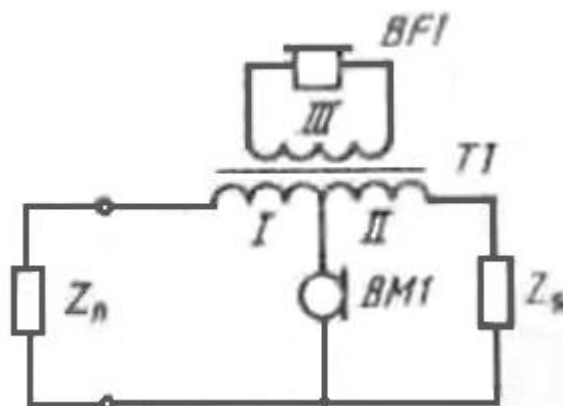


Рисунок 2.1 - Противоместное устройство мостового типа

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.

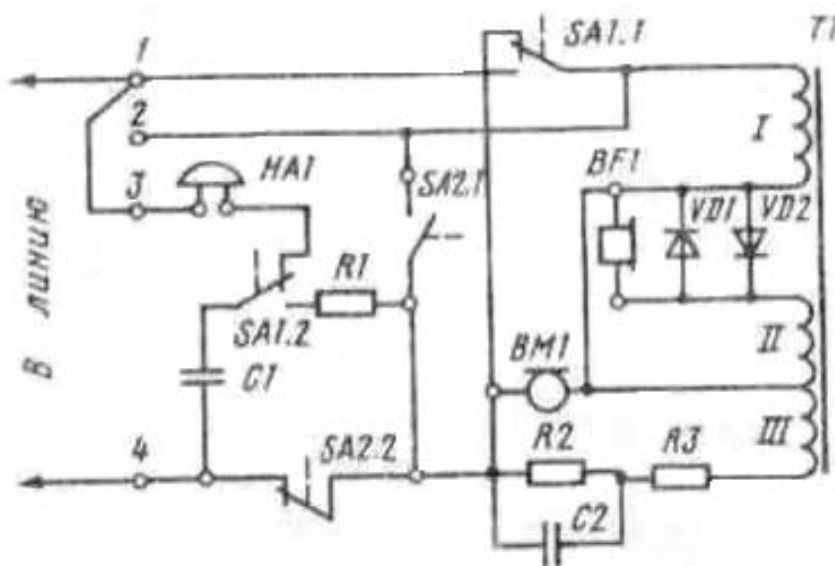


Рисунок 2.2 - Схема телефонного аппарата ТА-72М-5

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 вращающей 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.

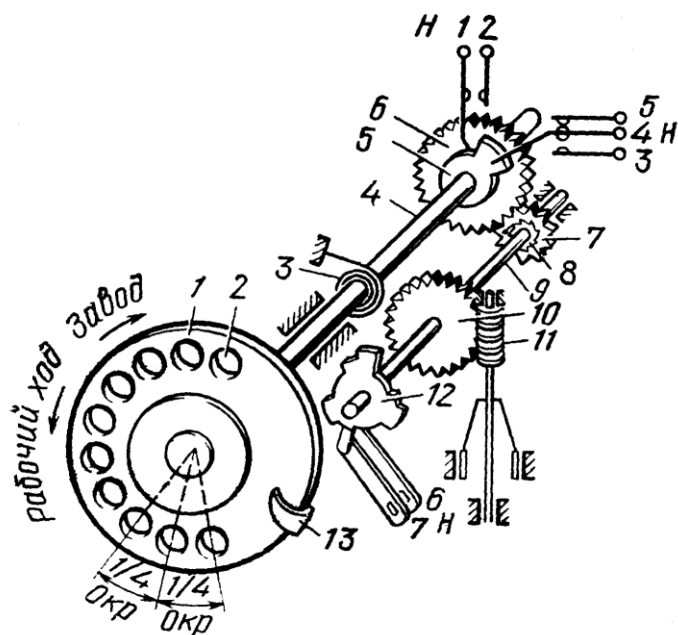


Рисунок 2.3 - Дисковый номеронабиратель

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 180 мс. 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.

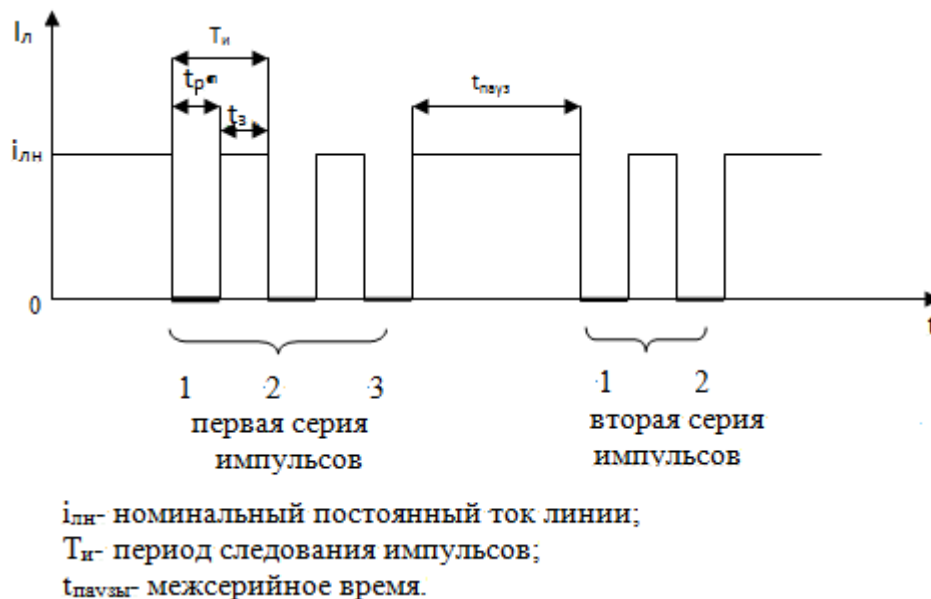


Рисунок 2.4 - Импульсный набор номера 32

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). Набранный 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.

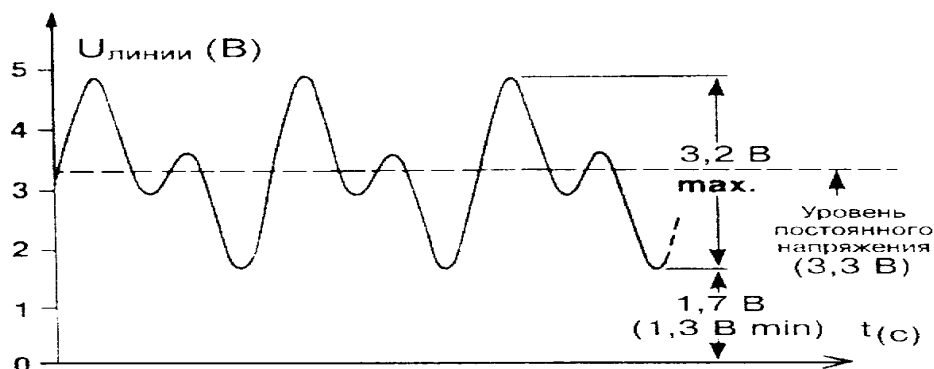


Рисунок 2.5 - Временной график сигнала частотного набора в телефонной линии

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.

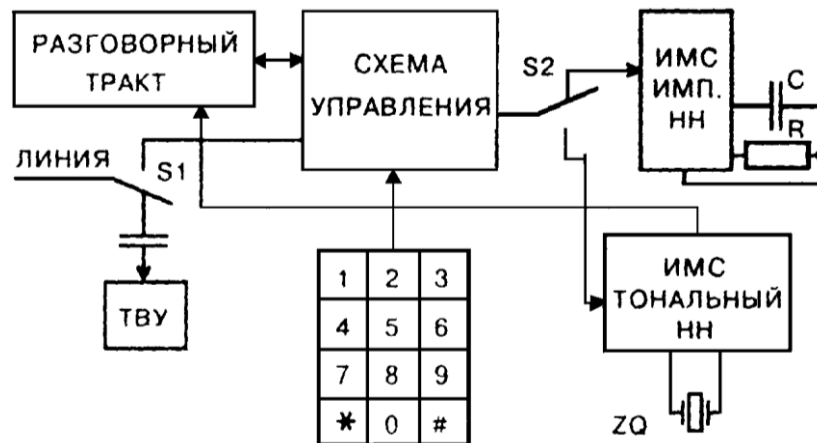


Рисунок 2.6 - Функциональная схема ТА с отдельными ИМС для импульсного и тонального набора номера

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: Обобщенные характеристики сигналов и каналов

Цель ПЗ: Изучить представление и характеристики сигналов 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).

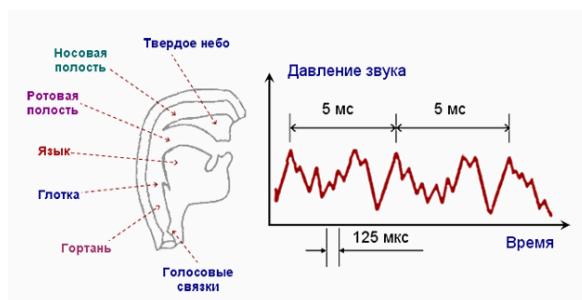


Рисунок 3.1 - Кривая звукового давления при произношении звука "а".

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.

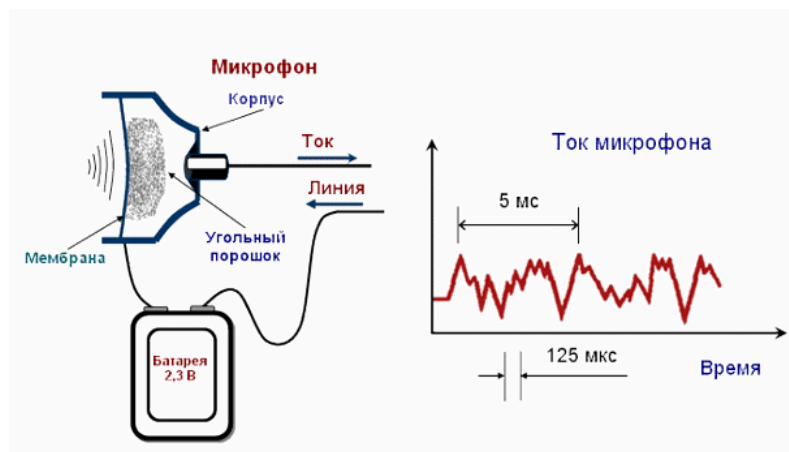


Рисунок 3.2 - Превращение звука в электрический сигнал с помощью микрофона

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).

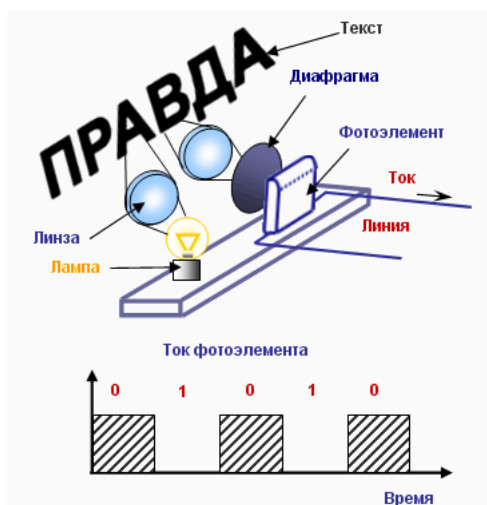


Рисунок 3.4 - Преобразование изображения в электрический сигнал в факсимильном аппарате

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 ширины 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 суперортикаона. 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).

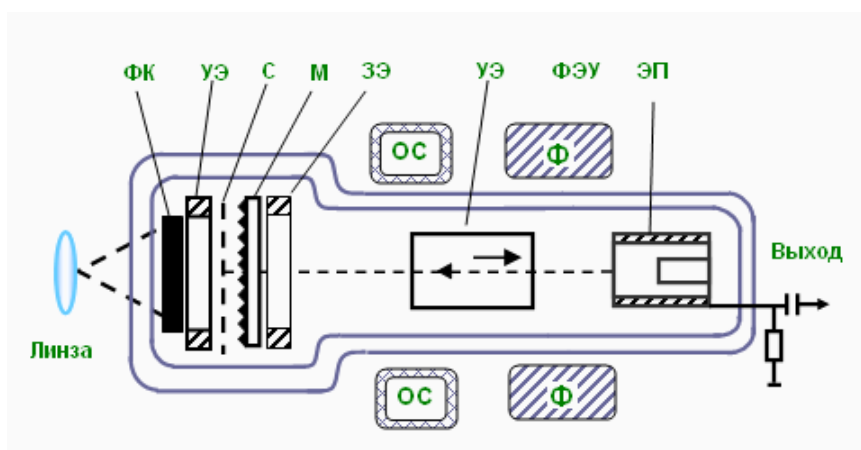


Рисунок 3.5 - Устройство передающей электронной трубки

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 650 000 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 называли бодом. При длительности импульса $\tau_{и} = 1\text{с}$ 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.

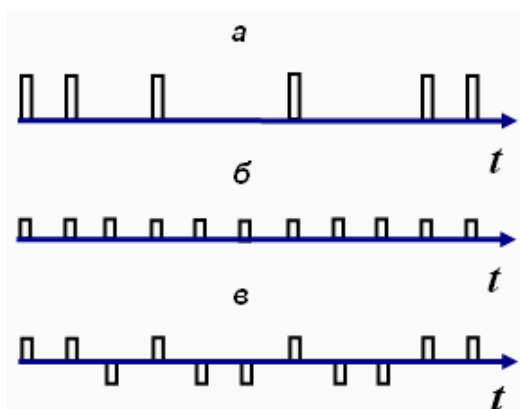


Рисунок 3.6 - Представление потока импульса

(а) в виде регулярной (б) и случайной (в) составляющей

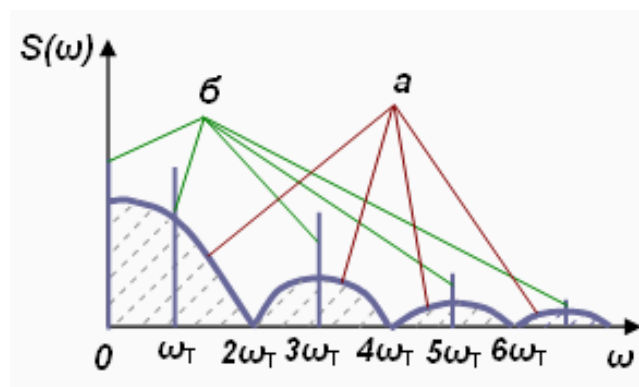


Рисунок 3.7 - Спектры случайной (а) и регулярной (б) составляющих потока импульсов.

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 — $s(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$.

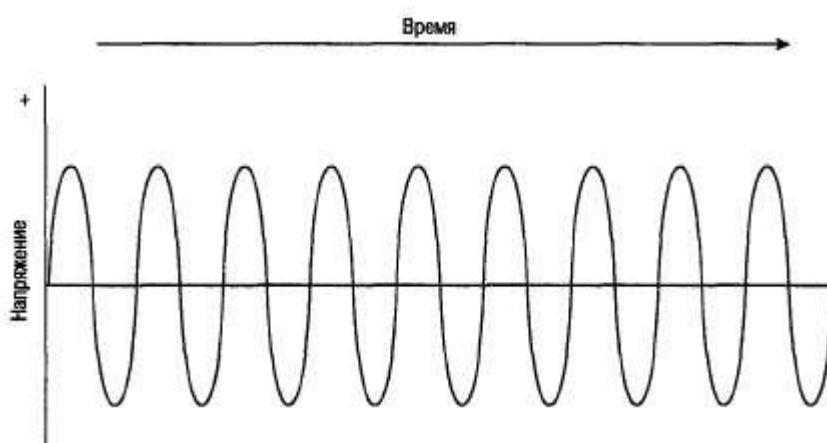


Рисунок 3.8 – Аналоговый сигнал

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.

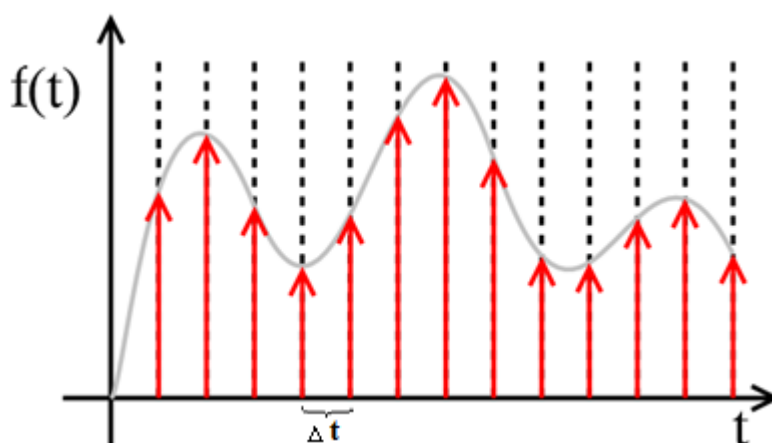


Рисунок 3.9 – Сигнал дискретный во времени

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 $n \geq \log_2(N)$.

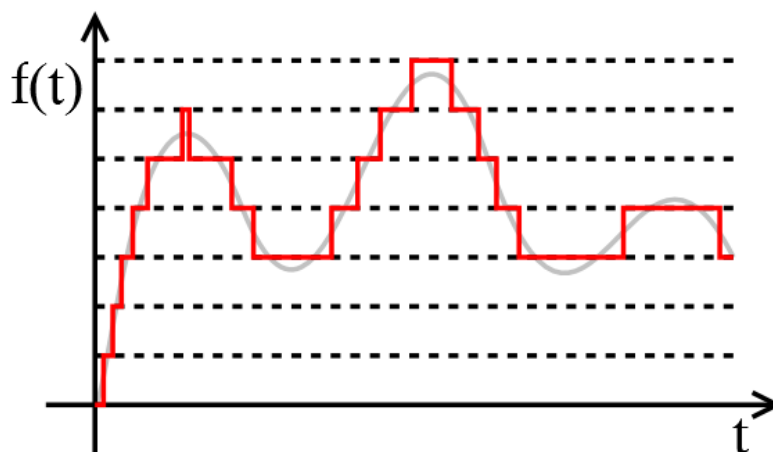


Рисунок 3.10 - Квантованный сигнал

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.

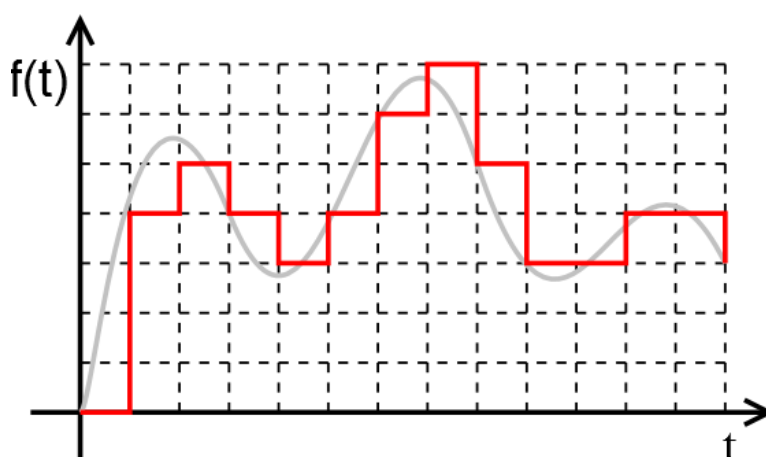


Рисунок 3.11 - Цифровой сигнал

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 $B=T \cdot F$. 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;

Объём 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: Формирование группового сигнала электросвязи

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

Учебные вопросы:

1. Формирование линейного спектра
2. Формирование временного спектра
3. Построение групповых 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 4.1. 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:

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

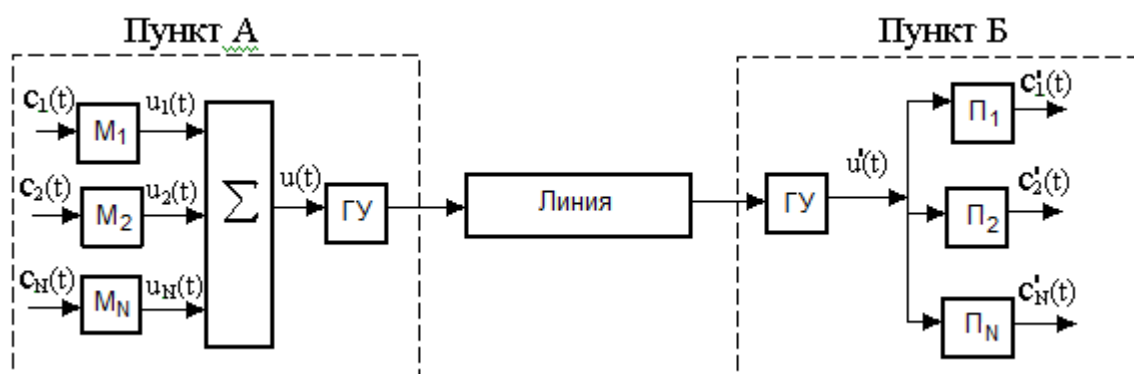


Рисунок 4.1 - Структурная схема системы многоканальной связи

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 4.2.

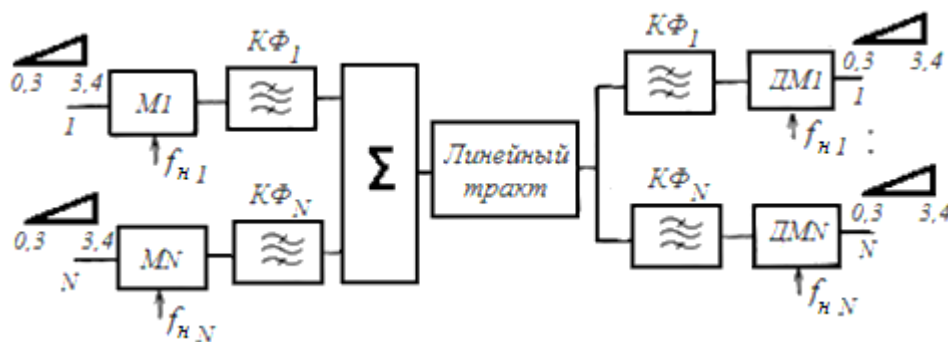


Рисунок 4.2 - Структурная схема системы передачи с ЧРК

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 4.3). Спектры первичных сигналов идентичны и занимают диапазон 0,3 ... 3,4 кГц.

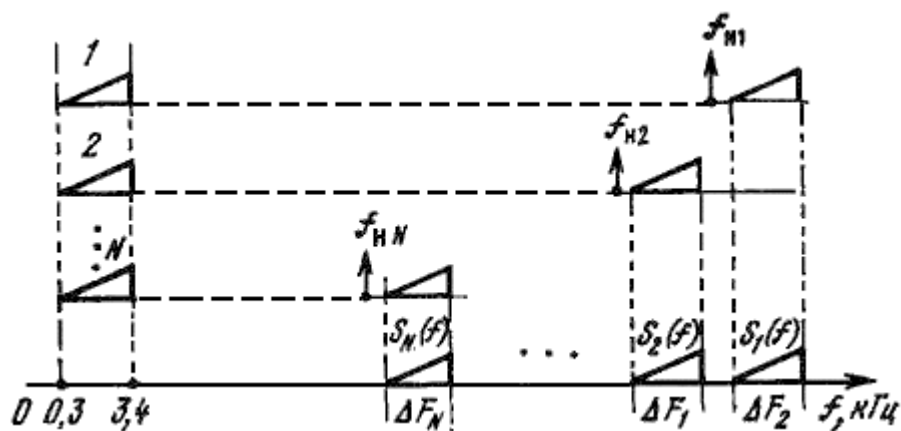


Рисунок 4.3 - Схема преобразования спектров сигналов в СП с ЧРК

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 4.4.

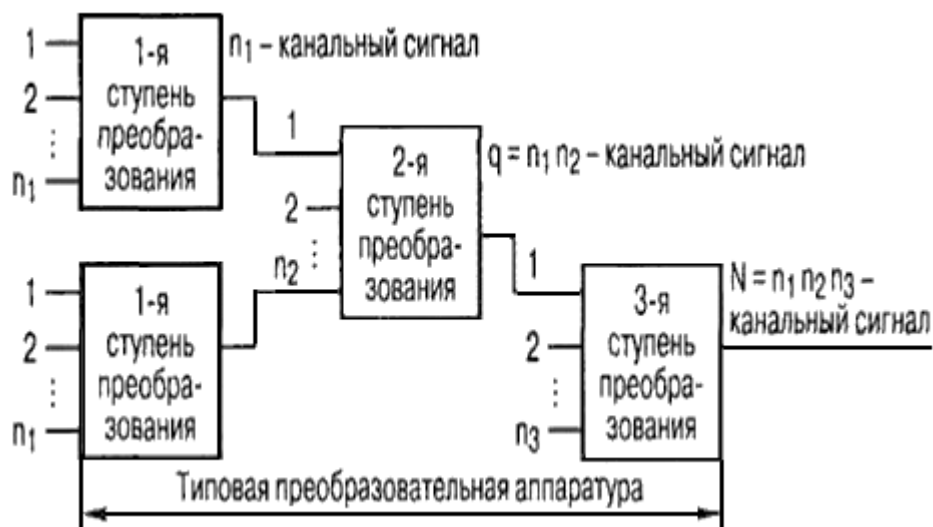


Рисунок 4.4 - К пояснению принципа многократного преобразования частоты

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:

- непосредственное кодирование соответствующего числа аналоговых сигналов и получение временного спектра первичного потока Е1 (рисунок 4.5);
- временное группообразование, которое предполагает формирование группового сигнала ЦСП высшего порядка путем объединения цифровых групповых сигналов, сформированных в системах более низкого порядка.

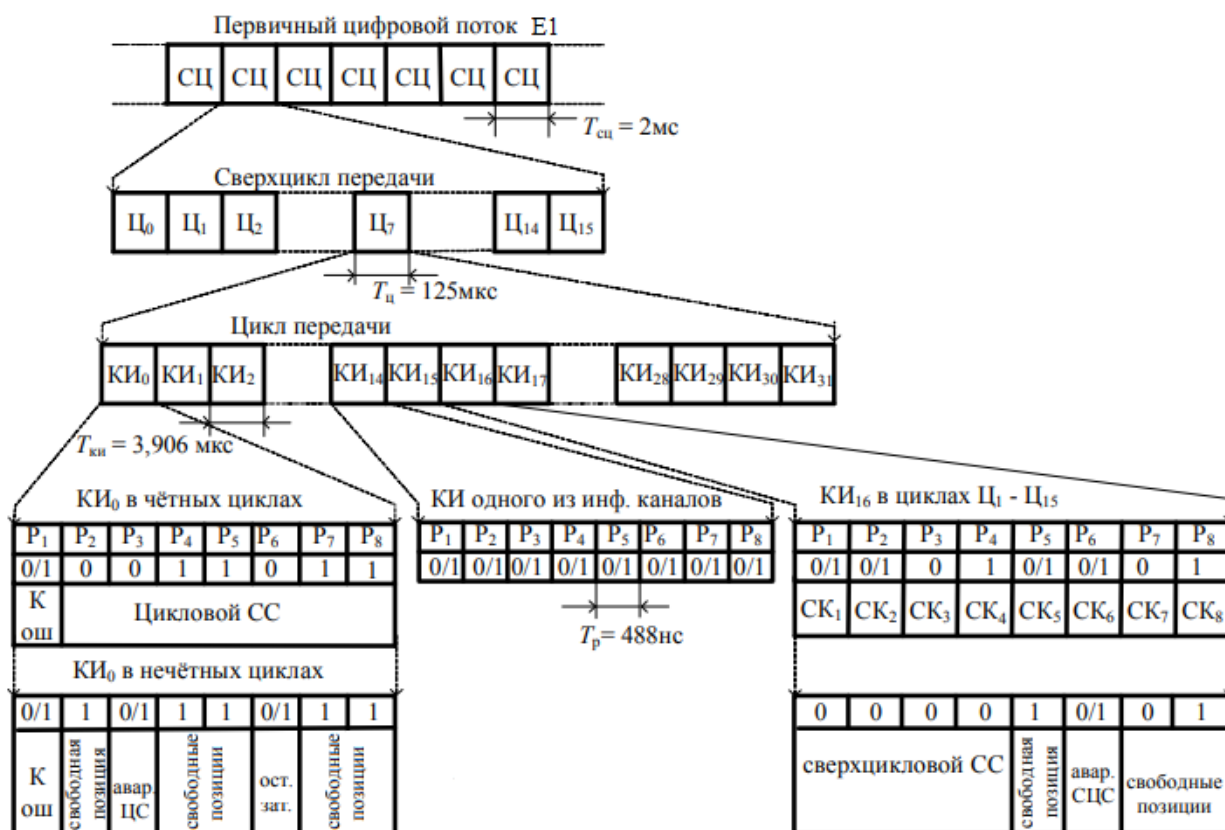


Рисунок 4.5 – Временной спектр первичного потока Е1

Линейный сигнал системы построен на основе сверхциклов, циклов, канальных и тактовых интервалов (обозначение 0/1 соответствует передаче в данном тактовом интервале случайного сигнала). Сверхцикл передачи (СЦ) соответствует минимальному интервалу времени, за который передаётся один отсчёт каждого из 30 сигнальных каналов (СК) и каналов передачи аварийной сигнализации (потери сверхцикловой или цикловой синхронизации). Сверхцикл состоит из 16 циклов передачи (с Ц₀ по Ц₁₅). Длительность цикла $T_{ц}=125\text{мкс}$ и соответствует интервалу дискретизации канала ТЧ с частотой 8 кГц. Каждый цикл подразделяется на 32 канальных интервала длительностью $T_{ки}=3,906 \text{ мкс}$. Канальные интервалы КИ1–КИ15, КИ17–КИ31 отведены под передачу информационных сигналов. КИ0 и КИ16 – под передачу служебной информации. Каждый канальный интервал состоит из восьми интервалов разрядов (P1–P8) длительностью по $T_p=488\text{нс}$. Половина разрядного интервала может быть занята прямоугольным импульсом

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 4.6 - 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 4.1).

Таблица 4.1 – 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 № 5

Тема: Расчет параметров проводных линий связи

Цель ПЗ: Закрепить теоретические сведения и получить первичные навыки в расчете основных параметров проводных линий связи

Учебные вопросы:

1. Краткие теоретические сведения.
2. Расчет параметров линий связи.

1 Краткие теоретические сведения

К основным характеристикам линий связи относятся:

- амплитудно-частотная характеристика;
- полоса пропускания;
- затухание;
- помехоустойчивость;
- перекрестные наводки на ближнем конце линии;
- пропускная способность;
- достоверность передачи данных;
- удельная стоимость.

В первую очередь разработчика вычислительной сети интересуют пропускная способность и достоверность передачи данных, поскольку эти характеристики прямо влияют на производительность и надежность создаваемой сети. Пропускная способность и достоверность — это характеристики как линии связи, так и способа передачи данных. Поэтому если способ передачи (протокол) уже определен, то известны и эти характеристики. Например, пропускная способность цифровой линии всегда известна, так как на ней определен протокол физического уровня, который задает битовую скорость передачи данных — 64 Кбит/с, 2 Мбит/с и т. п.

Однако нельзя говорить о пропускной способности линии связи, до того как для нее определен протокол физического уровня. Именно в таких случаях, когда только предстоит определить, какой из множества существующих протоколов можно использовать на данной линии, очень важными являются остальные характеристики линии, такие как полоса пропускания, перекрестные наводки, помехоустойчивость и другие характеристики.

Для определения характеристик линии связи часто используют анализ ее реакций на некоторые эталонные воздействия. Такой подход позволяет достаточно просто и однотипно определять характеристики линий связи любой природы, не прибегая к сложным

теоретическим исследованиям. Чаще всего в качестве эталонных сигналов для исследования реакций линий связи используются синусоидальные сигналы различных частот. Это связано с тем, что сигналы этого типа часто встречаются в технике и с их помощью можно представить любую функцию времени — как непрерывный процесс колебаний звука, так и прямоугольные импульсы, генерируемые компьютером.

Спектральный анализ сигналов на линиях связи. Из теории гармонического анализа известно, что любой периодический процесс можно представить в виде суммы синусоидальных колебаний различных частот и различных амплитуд (рисунок 1). Каждая составляющая синусоида называется также гармоникой, а набор всех гармоник называют спектральным разложением исходного сигнала. Непериодические сигналы можно представить в виде интеграла синусоидальных сигналов с непрерывным спектром частот. Например, спектральное разложение идеального импульса (единичной мощности и нулевой длительности) имеет составляющие всего спектра частот, от $-\infty$ до $+\infty$ (рисунок 5.2).

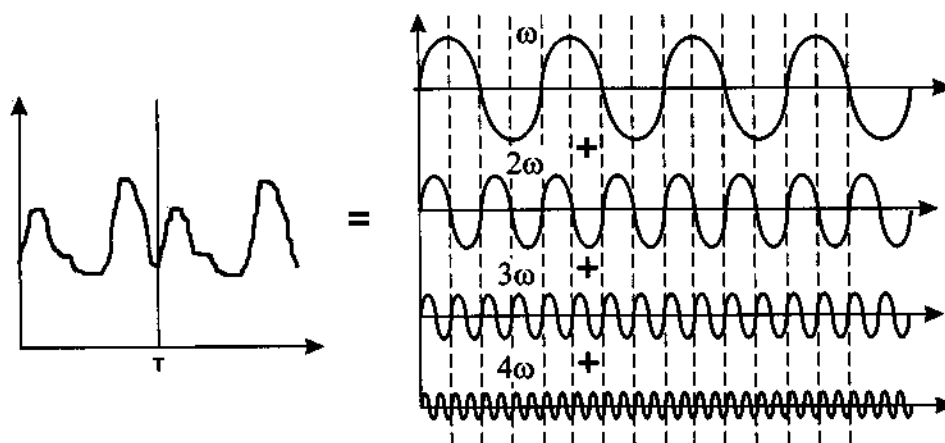


Рисунок 5.1 – Представление периодического сигнала суммой импульсов

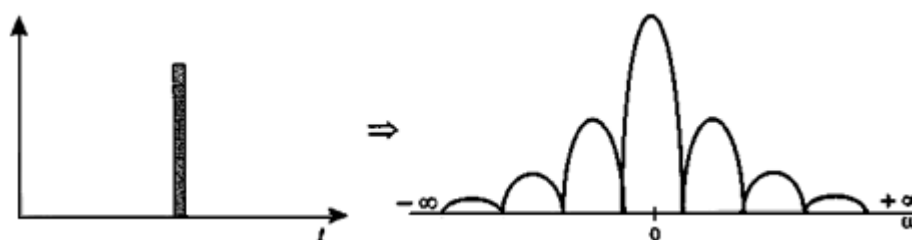


Рисунок 5.2- Спектральное разложение идеального импульса

Техника нахождения спектра любого исходного сигнала хорошо известна. Для последовательности прямоугольных импульсов одинаковой длительности и амплитуды), спектр легко вычисляется на основании формул Фурье. Для сигналов произвольной формы, встречающихся на практике, спектр можно найти с помощью специальных приборов —

спектральных анализаторов, которые измеряют спектр реального сигнала и отображают амплитуды составляющих гармоник на экране или распечатывают их на принтере.

Искажение передающим каналом синусоиды какой-либо частоты приводит в конечном счете к искажению передаваемого сигнала любой формы, особенно если синусоиды различных частот искажаются неодинаково. Если это аналоговый сигнал, передающий речь, то изменяется тембр голоса за счет искажения обертонов — боковых частот. При передаче импульсных сигналов, характерных для компьютерных сетей, искажаются низкочастотные и высокочастотные гармоники, в результате фронты импульсов теряют свою прямоугольную форму (рисунок 5.3). Вследствие этого на приемном конце линии сигналы могут плохо распознаваться.

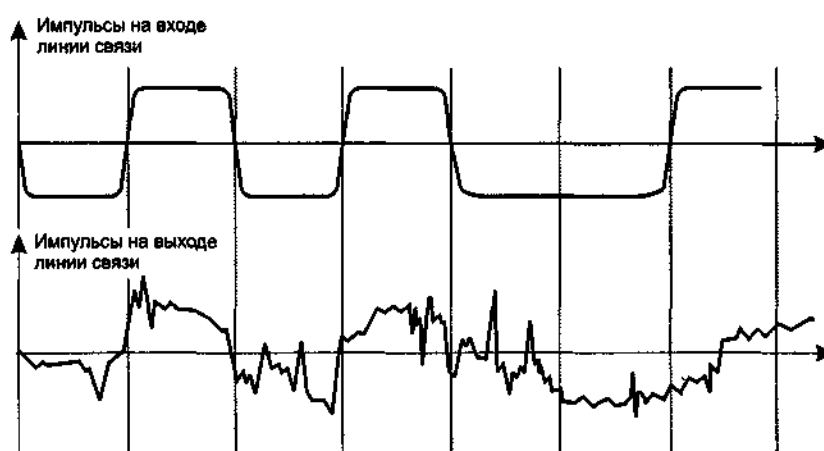


Рисунок 5.3 – Искажения импульсов в линии связи

Линия связи искажает передаваемые сигналы из-за того, что ее физические параметры отличаются от идеальных. Так, например, медные провода всегда представляют собой некоторую распределенную по длине комбинацию активного сопротивления, емкостной и индуктивной нагрузки (рисунок 5.4). В результате для синусоид различных частот линия будет обладать различным полным сопротивлением, а значит, и передаваться они будут по-разному. Волоконно-оптический кабель также имеет отклонения, мешающие идеальному распространению света. Если линия связи включает промежуточную аппаратуру, то она также может вносить дополнительные искажения, так как невозможно создать устройства, которые бы одинаково хорошо передавали весь спектр синусоид, от нуля до бесконечности.

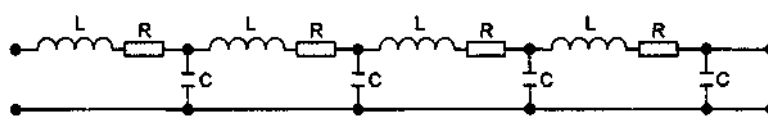


Рисунок 5.4 – Представление линии как распределенной индуктивно-емкостной нагрузки

Несмотря на защитные меры, предпринимаемые разработчиками кабелей и усилительно-коммутирующей аппаратуры, полностью компенсировать влияние внешних помех не удастся. Поэтому сигналы на выходе линии связи обычно имеют сложную форму (как это и показано на рисунке 5.4), по которой иногда трудно понять, какая дискретная информация была подана на вход линии.

Амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание. Степень искажения синусоидальных сигналов линиями связи оценивается с помощью таких характеристик, как амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание на определенной частоте.

Амплитудно-частотная характеристика (рисунок 5.5) показывает, как затухает амплитуда синусоиды на выходе линии связи по сравнению с амплитудой на ее входе для всех возможных частот передаваемого сигнала. Вместо амплитуды в этой характеристике часто используют также такой параметр сигнала, как его мощность.

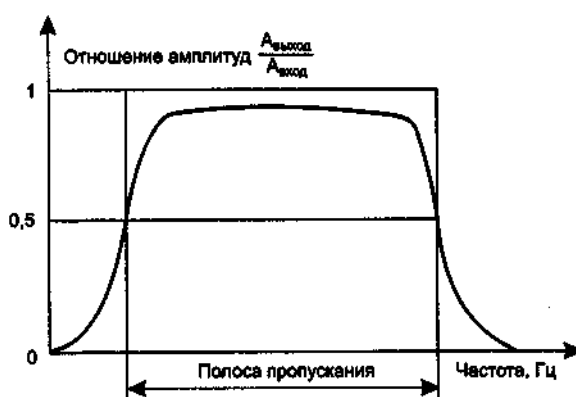


Рисунок 5.5 - Амплитудно-частотная характеристика

Знание амплитудно-частотной характеристики реальной линии позволяет определить форму выходного сигнала практически для любого входного сигнала. Для этого необходимо найти спектр входного сигнала, преобразовать амплитуду составляющих его гармоник в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой, а затем найти форму выходного сигнала, сложив преобразованные гармоники.

Несмотря на полноту информации, предоставляемой амплитудно-частотной характеристикой о линии связи, ее использование осложняется тем обстоятельством, что получить ее весьма трудно. Ведь для этого нужно провести тестирование линии эталонными синусоидами по всему диапазону частот от нуля до некоторого максимального значения, которое может встретиться во входных сигналах. Причем менять частоту входных синусоид нужно с небольшим шагом, а значит, количество экспериментов должно быть очень большим.

Поэтому на практике вместо амплитудно-частотной характеристики применяются другие, упрощенные характеристики - полоса пропускания и затухание.

Полоса пропускания (bandwidth) — это непрерывный диапазон частот, для которого отношение амплитуды выходного сигнала ко входному превышает некоторый заранее заданный предел, обычно 0,5. То есть полоса пропускания определяет диапазон частот синусоидального сигнала, при которых этот сигнал передается по линии связи без значительных искажений. Знание полосы пропускания позволяет получить с некоторой степенью приближения тот же результат, что и знание амплитудно-частотной характеристики. Как мы увидим ниже, *ширина* полосы пропускания в наибольшей степени влияет на максимально возможную скорость передачи информации по линии связи. Именно этот факт нашел отражение в английском эквиваленте рассматриваемого термина (width — ширина).

Затухание (attenuation) определяется как относительное уменьшение амплитуды или мощности сигнала при передаче по линии сигнала определенной частоты. Таким образом, затухание представляет собой одну точку из амплитудно-частотной характеристики линии. Часто при эксплуатации линии заранее известна основная частота передаваемого сигнала, то есть та частота, гармоника которой имеет наибольшую амплитуду и мощность. Поэтому достаточно знать затухание на этой частоте, чтобы приблизительно оценить искажения передаваемых по линии сигналов. Более точные оценки возможны при знании затухания на нескольких частотах, соответствующих нескольким основным гармоникам передаваемого сигнала.

Затухание A обычно измеряется в децибелах (дБ, decibel — dB) и вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \cdot \lg \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}},$$

где $P_{\text{ВЫХ}}$ — мощность сигнала на выходе линии, $P_{\text{ВХ}}$ — мощность сигнала на входе линии.

Так как мощность выходного сигнала кабеля без промежуточных усилителей всегда меньше, чем мощность входного сигнала, затухание кабеля всегда является отрицательной величиной.

Например, кабель на витой паре категории 5 характеризуется затуханием не ниже -23,6 дБ для частоты 100 МГц при длине кабеля 100 м. Частота 100 МГц выбрана потому, что кабель этой категории предназначен для высокоскоростной передачи данных, сигналы которых имеют значимые гармоники с частотой примерно 100 МГц. Кабель категории 3 предназначен для низкоскоростной передачи данных, поэтому для него определяется затухание на частоте 10

МГц (не ниже -11,5 дБ). Часто оперируют с абсолютными значениями затухания, без указания знака.

Абсолютный уровень мощности, например, уровень мощности передатчика, также измеряется в децибелах. При этом в качестве базового значения мощности сигнала, относительно которого измеряется текущая мощность, принимается значение в 1 мВт. Таким образом, уровень мощности P вычисляется по следующей формуле:

$$A = 10 \cdot \lg \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{1 \text{ мВт}} \text{ [дБм]},$$

где P — мощность сигнала в милливаттах, а дБм (dBm) — это единица измерения уровня мощности (децибел на 1 мВт).

Таким образом, амплитудно-частотная характеристика, полоса пропускания и затухание являются универсальными характеристиками, и их знание позволяет сделать вывод о том, как через линию связи будут передаваться сигналы любой формы.

Полоса пропускания зависит от типа линии и ее протяженности. На рисунке 5.6 показаны полосы пропускания линий связи различных типов, а также наиболее часто используемые в технике связи частотные диапазоны;

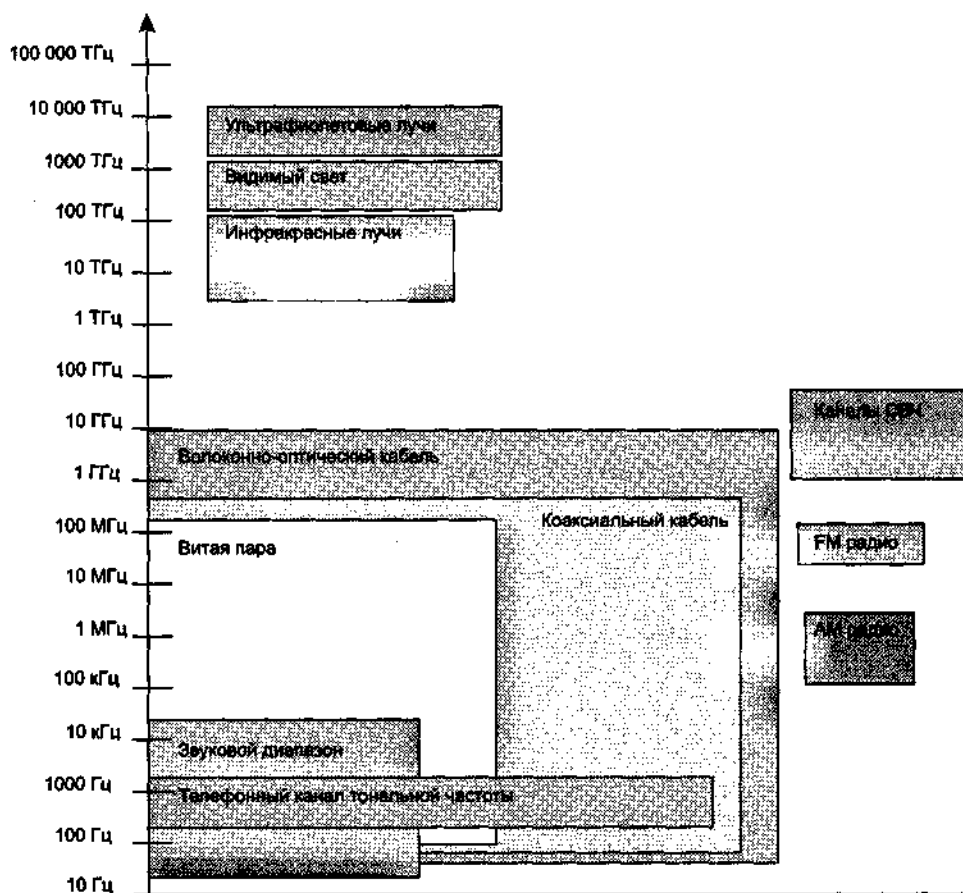


Рисунок 5.6 - Полосы пропускания линий связи и популярные частотные диапазоны

Пропускная способность линии. *Пропускная способность (throughput)* линии характеризует максимально возможную скорость передачи данных по линии связи. Пропускная способность измеряется в битах в секунду — бит/с, а также в производных единицах, таких как килобит в секунду (Кбит/с), мегабит в секунду (Мбит/с), гигабит в секунду (Гбит/с) и т. д. Это связано с тем, что данные в сетях передаются последовательно, то есть побитно, а не параллельно, байтами, как это происходит между устройствами внутри компьютера. Такие единицы измерения, как килобит, мегабит или гигабит, в сетевых технологиях строго соответствуют степеням 10 (то есть килобит - это 1000 бит, а мегабит - это 1 000 000 бит), как это принято во всех отраслях науки и техники, а не близким к этим числам степеням 2, как это принято в программировании, где приставка «кило» равна $2^{10} = 1024$, а «мега» - $2^{20} = 1\,048\,576$.

Пропускная способность линии связи зависит не только от ее характеристик, таких как амплитудно-частотная характеристика, но и от спектра передаваемых сигналов. Если значимые гармоники сигнала (то есть те гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий сигнал) попадают в полосу пропускания линии, то такой сигнал будет хорошо передаваться данной линией связи и приемник сможет правильно распознать информацию, отправленную по линии передатчиком (рисунок 5.7, а). Если же значимые гармоники выходят за границы полосы пропускания линии связи, то сигнал будет значительно искажаться, приемник будет ошибаться при распознавании информации, а значит, информация не сможет передаваться с заданной пропускной способностью (рисунок 5.7,б).

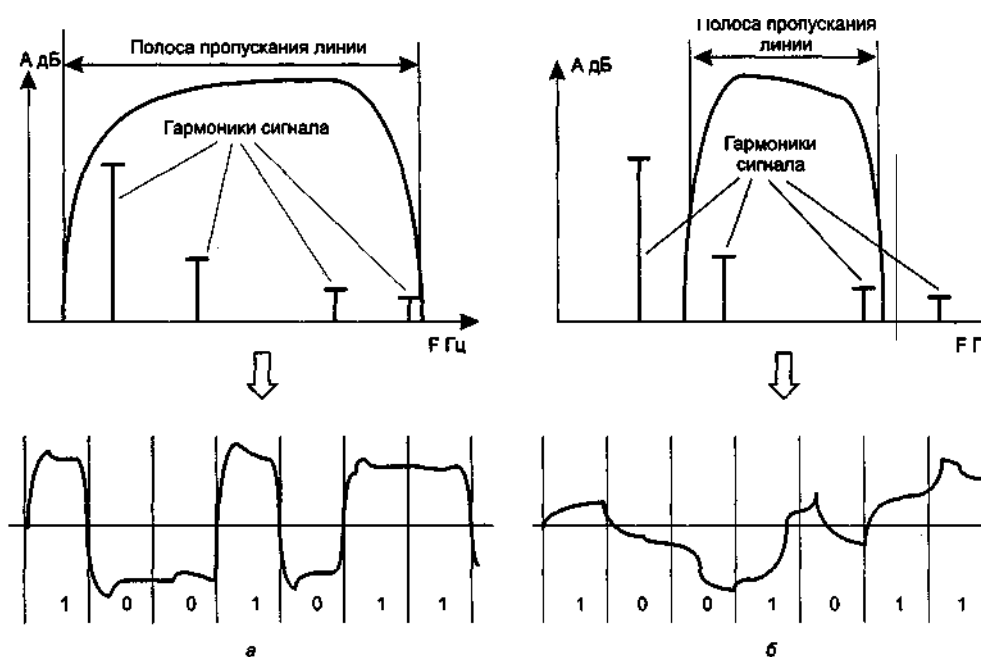


Рисунок 5.7 – Соответствие между полосой линии связи и спектром сигнала

Выбор способа представления дискретной информации в виде сигналов, подаваемых на линию связи, называется *физическим* или *линейным кодированием*. От выбранного способа кодирования зависит спектр сигналов и, соответственно, пропускная способность линии. Таким образом, для одного способа кодирования линия может обладать одной пропускной способностью, а для другого — другой. Например, витая пара категории 3 может передавать данные с пропускной способностью 10 Мбит/с при способе кодирования стандарта физического уровня 10Base-T и 33 Мбит/с при способе кодирования стандарта 100Base-T4. В примере, приведенном на рис. 5, принят следующий способ кодирования — логическая 1 представлена на линии положительным потенциалом, а логический 0 — отрицательным.

Теория информации говорит, что любое различимое и непредсказуемое изменение принимаемого сигнала несет в себе информацию. В соответствии с этим прием синусоиды, у которой амплитуда, фаза и частота остаются неизменными, информации не несет, так как изменение сигнала хотя и происходит, но является хорошо предсказуемым. Аналогично, не несут в себе информации импульсы на тактовой шине компьютера, так как их изменения также постоянны во времени. А вот импульсы на шине данных предсказать заранее нельзя, поэтому они переносят информацию между отдельными блоками или устройствами.

Большинство способов кодирования используют изменение какого-либо параметра периодического сигнала — частоты, амплитуды и фазы синусоиды или же знак потенциала последовательности импульсов. Периодический сигнал, параметры которого изменяются, называют *несущим сигналом* или *несущей частотой*, если в качестве такого сигнала используется синусоида.

Если сигнал изменяется так, что можно различить только два его состояния, то любое его изменение будет соответствовать наименьшей единице информации — биту. Если же сигнал может иметь более двух различимых состояний, то любое его изменение будет нести несколько бит информации.

Количество изменений информационного параметра несущего периодического сигнала в секунду измеряется в *бодах (baud)*. Период времени между соседними изменениями информационного сигнала называется тактом работы передатчика.

Пропускная способность линии в битах в секунду в общем случае не совпадает с числом бод. Она может быть как выше, так и ниже числа бод, и это соотношение зависит от способа кодирования.

Если сигнал имеет более двух различимых состояний, то пропускная способность в битах в секунду будет выше, чем число бод. Например, если информационными параметрами являются фаза и амплитуда синусоиды, причем различаются 4 состояния фазы в 0, 90, 180 и 270 градусов и два значения амплитуды сигнала, то информационный сигнал может иметь 8

различимых состояний. В этом случае модем, работающий со скоростью 2400 бод (с тактовой частотой 2400 Гц) передает информацию со скоростью 7200 бит/с, так как при одном изменении сигнала передается 3 бита информации.

При использовании сигналов с двумя различимыми состояниями может наблюдаться обратная картина. Это часто происходит потому, что для надежного распознавания приемником пользовательской информации каждый бит в последовательности кодируется с помощью нескольких изменений информационного параметра несущего сигнала. Например, при кодировании единичного значения бита импульсом положительной полярности, а нулевого значения бита — импульсом отрицательной полярности физический сигнал дважды изменяет свое состояние при передаче каждого бита. При таком кодировании пропускная способность линии в два раза ниже, чем число бод, передаваемое по линии.

На пропускную способность линии оказывает влияние не только физическое, но и логическое кодирование. *Логическое кодирование* выполняется до физического кодирования и подразумевает замену бит исходной информации новой последовательностью бит, несущей ту же информацию, но обладающей, кроме этого, дополнительными свойствами, например возможностью для приемной стороны обнаруживать ошибки в принятых данных. Сопровождение каждого байта исходной информации одним битом четности — это пример очень часто применяемого способа логического кодирования при передаче данных с помощью модемов. Другим примером логического кодирования может служить шифрация данных, обеспечивающая их конфиденциальность при передаче через общественные каналы связи. При логическом кодировании чаще всего исходная последовательность бит заменяется более длинной последовательностью, поэтому пропускная способность канала по отношению к полезной информации при этом уменьшается.

Связь между пропускной способностью линии и ее полосой пропускания. Чем выше частота несущего периодического сигнала, тем больше информации в единицу времени передается по линии и тем выше пропускная способность линии при фиксированном способе физического кодирования. Однако, с другой стороны, с увеличением частоты периодического несущего сигнала увеличивается и ширина спектра этого сигнала, то есть разность между максимальной и минимальной частотами того набора синусоид, которые в сумме дадут выбранную для физического кодирования последовательность сигналов. Линия передает этот спектр синусоид с теми искажениями, которые определяются ее полосой пропускания. Чем больше несоответствие между полосой пропускания линии и шириной спектра передаваемых информационных сигналов, тем больше сигналы искажаются и тем вероятнее ошибки в распознавании информации принимающей стороной, а значит, скорость передачи информации на самом деле оказывается меньше, чем можно было предположить.

Связь между полосой пропускания линии и ее *максимально возможной пропускной способностью*, вне зависимости от принятого способа физического кодирования, установил Клод Шеннон:

$$C = F \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right),$$

где C — максимальная пропускная способность линии в битах в секунду, F — ширина полосы пропускания линии в герцах, P_c — мощность сигнала, $P_{\text{ш}}$ — мощность шума.

Из этого соотношения видно, что хотя теоретического предела пропускной способности линии с фиксированной полосой пропускания не существует, на практике такой предел имеется. Действительно, повысить пропускную способность линии можно за счет увеличения мощности передатчика или же уменьшения мощности шума (помех) на линии связи. Обе эти составляющие поддаются изменению с большим трудом. Повышение мощности передатчика ведет к значительному увеличению его габаритов и стоимости. Снижение уровня шума требует применения специальных кабелей с хорошими защитными экранами, что весьма дорого, а также снижения шума в передатчике и промежуточной аппаратуре, чего достичь весьма не просто. К тому же влияние мощностей полезного сигнала и шума на пропускную способность ограничено логарифмической зависимостью, которая растет далеко не так быстро, как прямо-пропорциональная. Так, при достаточно типичном исходном отношении мощности сигнала к мощности шума в 100 раз повышение мощности передатчика в 2 раза даст только 15 % увеличения пропускной способности линии.

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

$$C = 2 \cdot F \cdot \log_2 M,$$

где M — количество различных состояний информационного параметра.

Если сигнал имеет два различных состояния, то пропускная способность равна удвоенному значению ширины полосы пропускания линии связи (рисунок 5.8, *а*). Если же передатчик использует более чем 2 устойчивых состояния сигнала для кодирования данных, то пропускная способность линии повышается, так как за один такт работы передатчик передает несколько бит исходных данных, например 2 бита при наличии четырех различных состояний сигнала (рисунок 5.8, *б*).

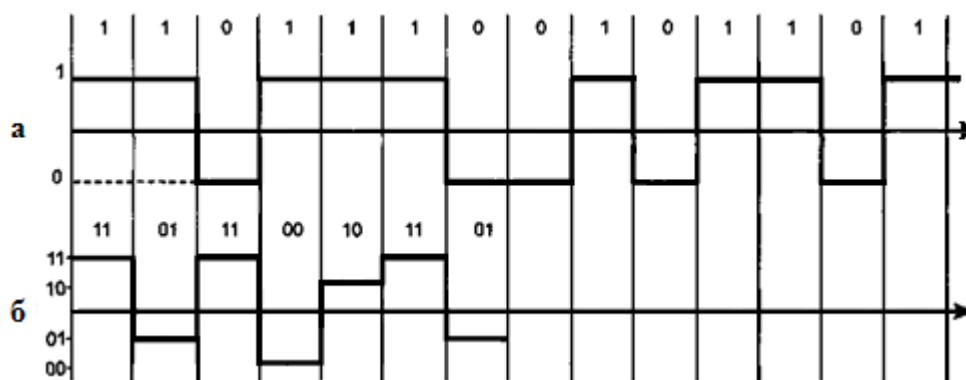


Рисунок 5.8 – Повышение скорости передачи за счет состояний сигналов

Хотя формула Найквиста явно не учитывает наличие шума, косвенно его влияние отражается в выборе количества состояний информационного сигнала. Для повышения пропускной способности канала хотелось бы увеличить это количество до значительных величин, но на практике мы не можем этого сделать из-за шума на линии. Например, для примера, приведенного на рис. 6, можно увеличить пропускную способность линии еще в два раза, используя для кодирования данных не 4, а 16 уровней. Однако если амплитуда шума часто превышает разницу между соседними 16-ю уровнями, то приемник не сможет устойчиво распознавать передаваемые данные. Поэтому количество возможных состояний сигнала фактически ограничивается соотношением мощности сигнала и шума, а формула Найквиста определяет предельную скорость передачи данных в том случае, когда количество состояний уже выбрано с учетом возможностей устойчивого распознавания приемником.

Приведенные соотношения дают предельное значение пропускной способности линии, а степень приближения к этому пределу зависит от конкретных методов физического кодирования, рассматриваемых ниже.

Помехоустойчивость и достоверность. *Помехоустойчивость линии* определяет ее способность уменьшать уровень помех, создаваемых во внешней среде, на внутренних проводниках. Помехоустойчивость линии зависит от типа используемой физической среды, а также от экранирующих и подавляющих помехи средств самой линии. Наименее помехоустойчивыми являются радиолинии, хорошей устойчивостью обладают кабельные линии и отличной — волоконно-оптические линии, малочувствительные ко внешнему электромагнитному излучению. Обычно для уменьшения помех, появляющихся из-за внешних электромагнитных полей, проводники экранируют и/или скручивают.

Перекрестные наводки на ближнем конце (Near End Cross Talk — NEXT) определяют помехоустойчивость кабеля к внутренним источникам помех, когда электромагнитное поле сигнала, передаваемого выходом передатчика по одной паре проводников, наводит на другую пару проводников сигнал помехи. Если ко второй паре будет подключен приемник, то он может

принять наведенную внутреннюю помеху за полезный сигнал. Показатель NEXT, выраженный в децибелах, равен $10 \log P_{\text{ВЫХ}}/P_{\text{НАВ}}$, где $P_{\text{ВЫХ}}$ — мощность выходного сигнала, $P_{\text{НАВ}}$ — мощность наведённого сигнала.

Чем меньше значение NEXT, тем лучше кабель. Так, для витой пары категории 5 показатель NEXT должен быть меньше -27 дБ на частоте 100 МГц.

Показатель NEXT обычно используется применительно к кабелю, состоящему из нескольких витых пар, так как в этом случае взаимные наводки одной пары на другую могут достигать значительных величин. Для одинарного коаксиального кабеля (то есть состоящего из одной экранированной жилы) этот показатель не имеет смысла, а для двойного коаксиального кабеля он также не применяется вследствие высокой степени защищенности каждой жилы. Оптические волокна также не создают сколь-нибудь заметных помех друг для друга.

В связи с тем, что в некоторых новых технологиях используется передача данных одновременно по нескольким витым парам, в последнее время стал применяться показатель *PowerSUM*, являющийся модификацией показателя NEXT. Этот показатель отражает суммарную мощность перекрестных наводок от всех передающих пар в кабеле.

Достоверность передачи данных характеризует вероятность искажения для каждого передаваемого бита данных. Иногда этот же показатель называют *интенсивностью битовых ошибок (Bit Error Rate, BER)*. Величина BER для каналов связи без дополнительных средств защиты от ошибок (например, самокорректирующихся кодов или протоколов с повторной передачей искаженных кадров) составляет, как правило, 10^{-4} - 10^{-6} , в оптоволоконных линиях связи — 10^{-9} . Значение достоверности передачи данных, например, в 10^{-4} говорит о том, что в среднем из 10 000 бит искажается значение одного бита.

Искажения бит происходят как из-за наличия помех на линии, так и по причине искажений формы сигнала ограниченной полосой пропускания линии. Поэтому для повышения достоверности передаваемых данных нужно повышать степень помехозащищенности линии, снижать уровень перекрестных наводок в кабеле, а также использовать более широкополосные линии связи.

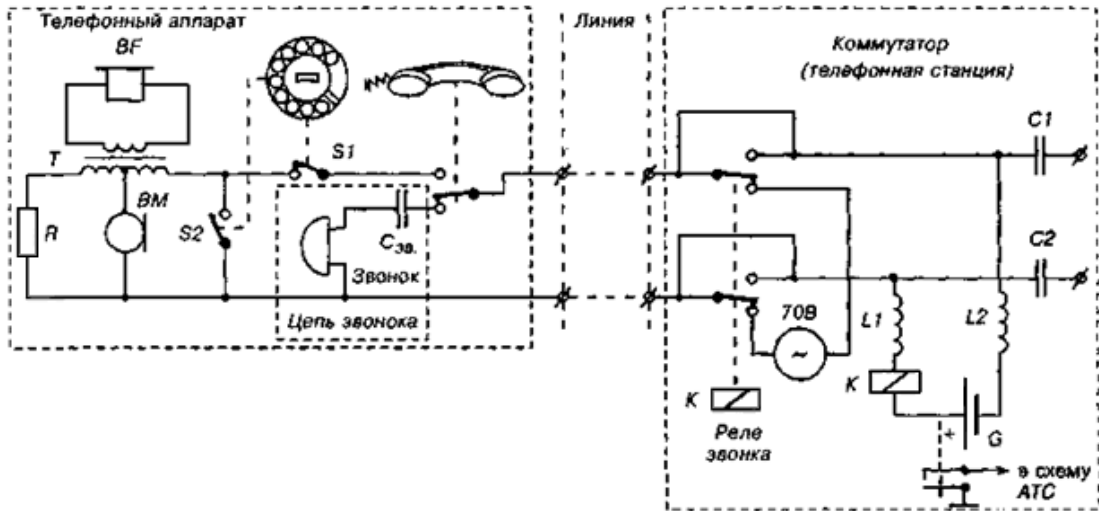


Рисунок 5.9 – Упрощенная схема системы «телефонный аппарат – линия – коммутатор», работающей в режиме формирования приема сигнала

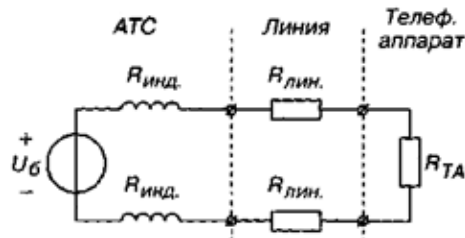


Рисунок 5.10 – Цепь прохождения постоянного тока через абонентские катушки, линию и телефонный аппарат

Напряжение батареи на большинстве АТС в СНГ обычно составляет 60 В, но оно может быть в диапазоне 24...100 В.

Рассчитаем величину тока линии (для худшего случая):

- Сопротивление катушек (2x400 Ом) .. 800 Ом
- 10км телефонной линии 18000м
- Сопротивление телефонного аппарата... 300 Ом
- Всего: 29000м
- Напряжение батареи60 В
- Минимальный ток линии: 60 В/29000Ом — 20,7мА.

В таблице 5.1 приводятся величины минимальных токов линии для телефонных сетей некоторых европейских стран.

В прошлом большинство телефонных компаний определяли максимальное сопротивление постоянному току для ТА, чтобы гарантировать минимальный ток катушек. Однако для электронных ТА сложно определить максимальное сопротивление постоянному току, так как они имеют нелинейную ВАХ (вольт-амперную характеристику). ВАХ

обусловлена полярностью защитного моста и очень высоким сопротивлением моста к малым токам. В США нормативно разрешено напряжение линии 6 В при токе 20 мА, но при частотном наборе оно может быть 8 В при токе 20 мА. Поэтому легче питать генераторы частотного кода в странах с этим типом спецификации.

Некоторые телефонные компании допускают меньшее напряжение в линии во время импульсного набора, чтобы упростить для реле на АТС выделение прерываний тока линии.

Таблица 5.1 - Величины минимальных токов линии для телефонных сетей некоторых

Страна	Минимальный ток линии, мА
Белорусия	20
Бельгия	20
Великобритания	25
Дания	15,3
Россия	20
Нидерланды	16
Норвегия	17
Швеция	11
Украина	20
Франция	12

Практическое занятие № 6

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 6.1 показано КП, состоящее из 3-х частей а), в), с) в которых осуществляется соединение N входов с M выходами через внутристанционные линии $V1$ и $V2$.

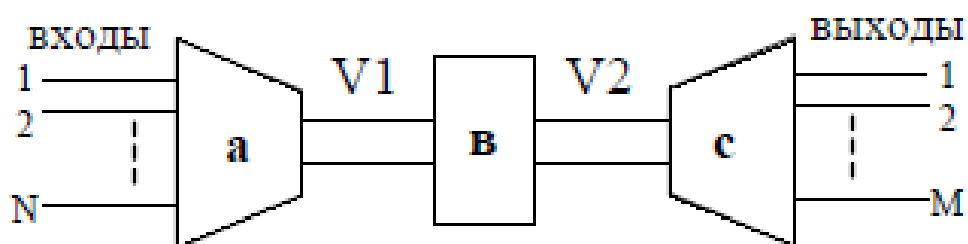


Рисунок 6.1 - Структурная схема коммутационного поля узла.

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 внутривыделенных 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 6.2 показаны коммутационный блок из N элементов в каждый из которых включено m линий, при этом общее число входных линий N , а выходов M .

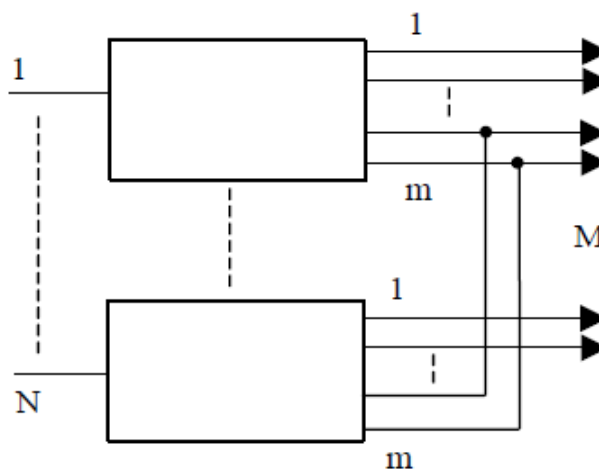


Рисунок 6.2 - Коммутационный блок

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 ступени 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 6.3) – это коммутационная схема с n входами и m выходами.

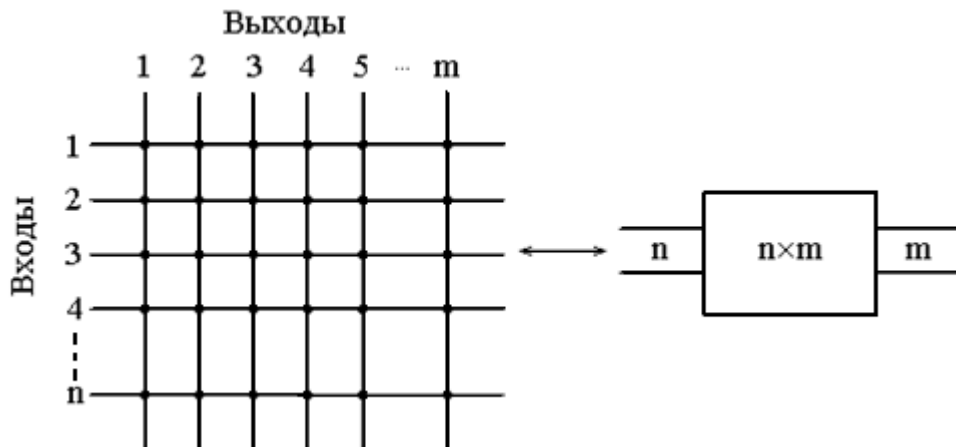


Рисунок 6.3 - Схема коммутатора $n \times m$ и его символическое изображение

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 6.4.

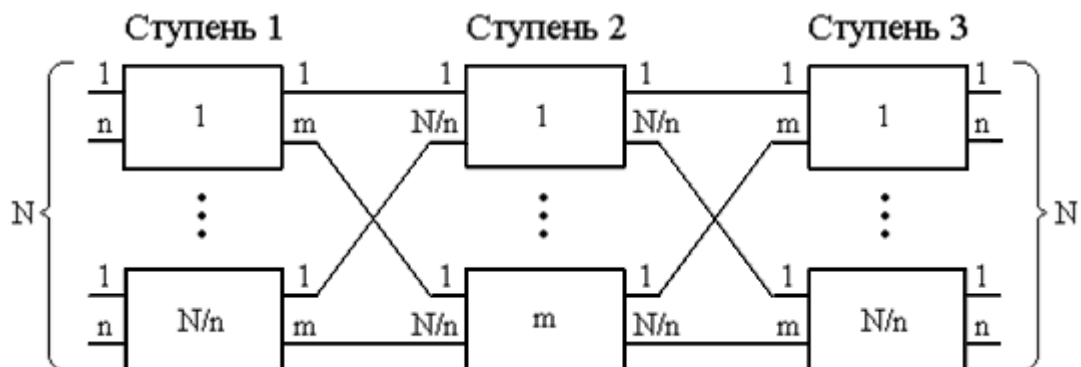


Рисунок 6.4 - Трёхступенчатая (трёхзвенная) коммутационная схема

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 6.5б 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.

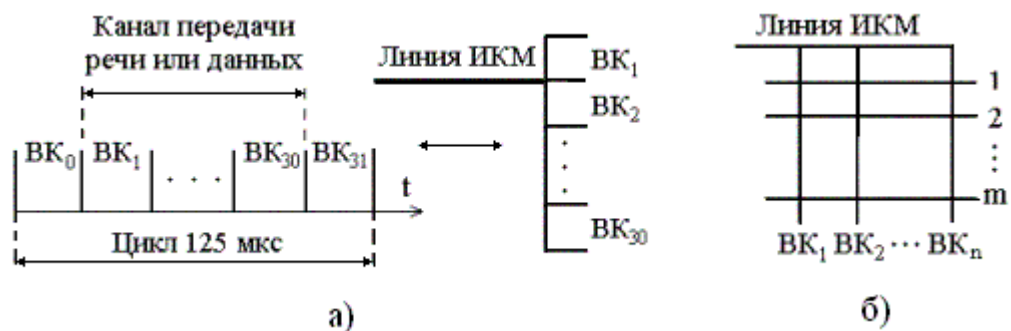


Рисунок 6.5 а) Формат цикла ЦСП с ИКМ и схематичное изображение временного разделения каналов, б) Схема пространственного эквивалента временной коммутации.

Пример КП с пространственно-временной коммутацией показан на рисунке 6.6. В ней на первой ступени и третьей ступенях используется временная, а на второй – пространственная коммутация.

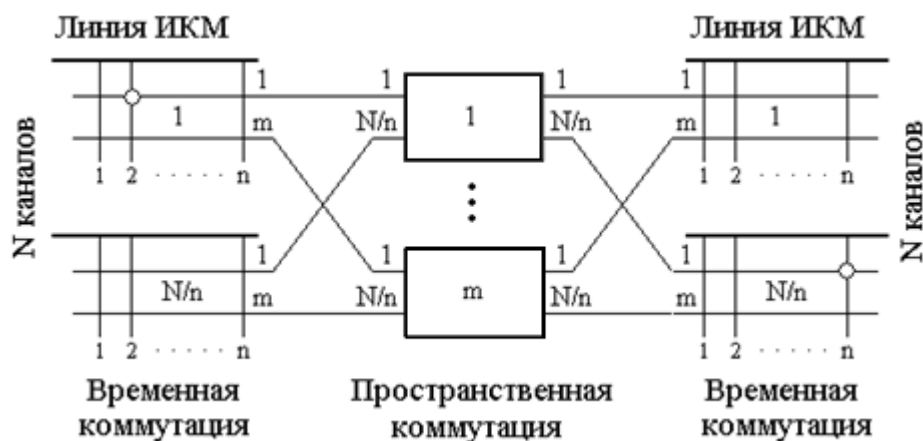


Рисунок 6.6 - Схема трёхзвенного КП типа В – П – В.

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?