

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»**

Базовая кафедра «Специальных средств связи»

**ЛЕКЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ВВЕДЕНИЕ В ПРОФЕССИЮ»**

**Направление подготовки 11.05.04 «Инфокоммуникационные
технологии и системы специальной связи»**

Разработчик: доцент, к.т.н. ТИТОВА О.В.

**Санкт-Петербург
2020**

ЛЕКЦИЯ №1

Тема № 1 «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОЙ СВЯЗИ»

Занятие № 1 «История развития электропроводной связи»

Потребность в общении, в передаче и хранении информации возникла и развивалась вместе с развитием человеческого общества. Сегодня информационная сфера деятельности человека является определяющим фактором интеллектуальной, экономической и оборонной возможностей человеческого общества и государства в целом. Зародившись в те времена, когда стали проявляться самые ранние признаки человеческой цивилизации, средства общения – средства связи между людьми непрерывно совершенствовались в соответствии с изменением условий жизни, с развитием культуры и техники.

На заре становления человеческого общества общение между людьми было весьма скудным. Воткнутая в землю ветка указывала, в каком направлении, и на какое расстояние ушли люди; особо положенные камни предупреждали о появлении врагов; зарубки на палках или деревьях сообщали об охотничьей добыче и пр. Существовала и примитивная передача сигналов на расстояние. Сообщения, закодированные в виде определенного числа выкриков либо ударов барабана с изменяющимся ритмом, содержали ту или иную информацию.

В десятом томе “Всеобщей истории” древнегреческого историка Полибия (ок. 201–120 г. до н.э.) описан способ передачи сообщений на расстояние с помощью факелов (факельный телеграф), изобретенный александрийскими учеными Клеоксеном и Демоклитом.

В 1800 г. итальянский ученый А. Вольта создал первый химический источник тока. Это изобретение дало возможность немецкому ученому С.

Земмерингу построить и представить в 1809 г. Мюнхенской академии наук проект электрохимического телеграфа.

В октябре 1832 г. состоялась первая публичная демонстрация электромагнитного телеграфа русского ученого П.Л. Шиллинга. В том же году с помощью телеграфа Шиллинга была налажена связь между Зимним дворцом и Министерством путей сообщения.

Подлинную революцию в деле электросвязи по проводам произвели русский академик Б.С. Якоби и американский ученый С. Морзе, предложившие независимо друг от друга пишущий телеграф.

В 1841 г. Б.С. Якоби ввел в эксплуатацию линию, оборудованную пишущим телеграфом и соединявшую Зимний дворец с Главным штабом. Через два года аналогичная линия протяженностью 25 км была построена между Петербургом и Царским Селом.

В 1850 г. Б.С. Якоби сконструировал первый буквопечатающий аппарат. В июне 1866 г. была осуществлена прокладка кабеля через Атлантический океан. Европа и Америка оказались связанными телеграфом.

В таблице 1 представлены периоды появления телеграфных линий связи в России.

Таблица 1

История развития телеграфной связи в России

Год	Построенные телеграфные линии связи
1841 г.	линия связи ТЛГ между Зимним дворцом и Главным штабом в Петербурге
1843 г.	линия связи ТЛГ от Зимнего дворца до Царского села
1852 г.	линия связи ТЛГ между Петербургом и Москвой
1853 г.	проложены подводные телеграфные кабели между Петербургом и Кронштадтом
1874 г.	линия связи ТЛГ между Одессой и Константинополем
1879 г.	линия связи ТЛГ между Баку и Красноводском
1881г.	линия связи между ТЛГ Владивостоком и Сахалином
1871 г.	была построена крупнейшая в мире телеграфная ВЛС Петербург - Владивосток длиной 12000 км.

В 1865 г. в Европе насчитывалось уже 150 000 км воздушные линии связи, причем на первом месте была Россия (35 400 км).

В русской армии электромагнитный телеграф начал применяться с 1854 г., когда появились первые полевые ВЛС (так называемые шестовые). Военно-полевые кабели связи известны с 1870 г.

Рождение телеграфа дало толчок к появлению телефона. Начиная уже с 1837 г. многие изобретатели пытались передать на расстояние человеческую речь с помощью электричества. В 1876 г. американский изобретатель А.Г. Белл запатентовал устройство для передачи речи по проводам – телефон. В 1878 г. Русский ученый М. Махальский сконструировал первый чувствительный микрофон с угольным порошком.

На первых порах для телефонной связи использовались телеграфные линии. Специальная двухпроводная телефонная линия была спроектирована в 1895 г. профессором П.Д. Войнаровским и построена в 1898 г. между Петербургом и Москвой.

В 1886 г. русский физик П.М. Голубицкий разработал новую схему телефонной связи. Согласно этой схеме микрофоны абонентских телефонных аппаратов получали питание от одной (центральной) батареи, расположенной на телефонной станции. Первые телефонные станции в России были построены в 1882–1883 гг. в Москве, Петербурге, Одессе.

Первая публичная демонстрация устройства А.С. Попова для приема электромагнитных волн состоялась 7 мая 1895 г. Этот день вошел в историю как день изобретения радио.

Сотрудники созданной в 1918 г. Нижегородской лаборатории (ее возглавил М.А. Бонч-Бруевич) уже в 1922 г. построили в Москве первую в мире радиовещательную станцию мощностью 12 кВт.

В 1935 г. между Нью-Йорком и Филадельфией вступила в строй радиопередающая линия на ультракоротких волнах, которая впоследствии была названа “радиорелейной линией”.

Отныне во все концы земного шара протянулись цепочки радиорелейных линий. Строительство первой радиорелейной линии в нашей стране было осуществлено в 1953 г. между Москвой и Рязанью.

“Бип...бип... бип”. Эти сигналы услышал 4 октября 1957 г. весь мир. Наступила эра освоения космоса. Совсем небольшой срок отделяет нас от этой даты, а на космические орбиты уже запущены тысячи искусственных спутников, исправно служащих человеку.

23 апреля 1965 г. в СССР был запущен искусственный спутник Земли “Молния-1”, на борту которого находилась приемопередающая ретрансляционная станция.

В 1960 г. в Америке был создан первый в мире лазер. Это стало возможным после появления работ советских ученых В.А. Фабриканта, Н.Г. Басова и А.М. Прохорова и американского ученого Ч. Таунса, получивших Нобелевскую премию.

“Обучать” лазеры передаче на расстояние информации стали вскоре после их изобретения. Первые лазерные линии связи появились в начале 60-х годов этого столетия. В нашей стране первая такая линия была построена в 1964 г. в Ленинграде.

Москвичам хорошо знакомы такие уголки столицы, как Ленинские горы и Зубовская площадь. В 1966 г. между ними засветилась красная нить лазерного света. Связывала она две городские АТС, находящиеся на расстоянии 5 км друг от друга.

В 1970 г. в американской фирме “Corning Glass Company” было получено сверхчистое стекло. Это дало возможность создать и внедрить повсеместно оптические кабели связи.

В 1947 г. появилось первое упоминание о разработанной фирмой “Белл” системе с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ). Система оказалась громоздкой и неработоспособной. И только в 1962 г. была внедрена в эксплуатацию первая коммерческая система передачи ИКМ-24.

Современные тенденции развития электросвязи. В последующие годы связь развивалась по пути цифровизации всех видов информации. Это стало генеральным направлением, обеспечивающим экономичные методы не только ее передачи, но и распределения, хранения и обработки.

Интенсивное развитие цифровых систем передачи объясняется существенными достоинствами этих систем по сравнению с аналоговыми системами передачи: высокой помехоустойчивостью; слабой зависимостью качества передачи от длины линии связи; стабильностью электрических параметров каналов связи; эффективностью использования пропускной способности при передаче дискретных сообщений и др.

В 2002 году развитие местной телефонной связи осуществлялось в основном на базе современных цифровых АТС, что позволило повысить качество и расширить спектр предоставляемых услуг. Коэффициент емкости цифровых станций от общей монтированной емкости местной телефонной сети в 2002г. составил порядка 40% против 36,2% в 2001 году. На 1.01.2003 г. на сетях России действовало порядка 195 тыс. единиц междугородних и местных таксофонов, в том числе 63 тыс. универсальных. Количество таксофонов увеличилось на 13% и составило 127,5 тыс. штук. Прирост числа основных телефонных аппаратов местной телефонной сети составил 1.8 млн. единиц, в основном за счет телефонных аппаратов, установленных у населения. Общее количество абонентов сотовой подвижной связи России на конец 2002 года составило 17,7 млн., прирост абонентской базы по отношению к 2001 году – 2,3 раза. В 2002 году за год компьютерный парк России увеличился по сравнению с 2001-м на 20%. Количество постоянных интернет-пользователей увеличилось на 39% и достигло 6 млн. человек. Объем отечественного ИТ-рынка вырос на 9% и составил более 4 млрд. долларов. В 2002 году введено в эксплуатацию более 50 тыс. км кабельных и радиорелейных линий связи, 3 млн. номеров автоматических телефонных станций, более 13 млн. номеров подвижной телефонной связи, а также свыше 70 тыс. междугородних и международных каналов.

Особенно быстрыми темпами в мире и у нас в стране идет развитие сети мобильной радиосвязи. По числу абонентов системы мобильной связи уже можно судить об уровне и качестве жизни в данной стране. В этом смысле темпы роста абонентов мобильной связи в России (почти 200 % в год) являются показателем роста благосостояния общества.

Исходя из макроэкономических показателей развития Российской Федерации, определенных в Основных направлениях социально-экономической политики Правительства Российской Федерации на долгосрочную перспективу, рынок телекоммуникационных услуг к 2010 году будет характеризоваться следующим образом (таблица 2).

Таблица 2

Показатели развития телекоммуникаций России на период до 2010г.

Показатели	2000 г.	2005 г.	2010 г.
Количество телефонов, млн.	31,2	36,9	47,7
Телефонная плотность на 100 жителей, %	21,3	25,3	32,7
Количество мобильных телефонов, млн.	2,9	9,24	22,2
Плотность сотовых телефонов на 100 жителей, %	2,0	6,3	15,2
Количество пользователей Интернет, млн.	2,5	6,0	26,1
Плотность пользователей Интернет на 100 жителей, %	1,7	4,1	17,9

Человечество движется по пути создания Глобального информационного общества. Его основой станет Глобальная информационная инфраструктура, составляющей которой будут мощные транспортные сети связи и распределенные сети доступа, предоставляющие информацию пользователям. Глобализация связи и ее персонализация (доведение услуг связи до каждого пользователя) – вот две взаимосвязанные

проблемы, успешно решаемые на данном этапе развития человечества специалистами электросвязи.

Дальнейшая эволюция телекоммуникационных технологий будет идти в направлениях увеличения скорости передачи информации, интеллектуализации сетей и обеспечения мобильности пользователей.

Высокие скорости. Необходимы для передачи изображений, в том числе телевизионных, интеграции различных видов информации в мультимедийных приложениях, организации связи локальных, городских и территориальных сетей.

Интеллектуальность. Позволит увеличить гибкость и надежность сети, сделает более легким управление глобальными сетями. Благодаря интеллектуализации сетей пользователь перестает быть пассивным потребителем услуг, превращаясь в активного клиента – клиента, который сможет сам активно управлять сетью, заказывая необходимые ему услуги.

Мобильность. Успехи в области миниатюризации электронных устройств, снижение их стоимости создают предпосылки к глобальному распространению мобильных оконечных устройств. Это делает реальной задачу предоставления услуг связи каждому в любое время и в любом месте.

Хочется отметить, что объем информации, передаваемой через информационно-телекоммуникационную инфраструктуру мира, удваивается каждые 2-3 года. Появляются и успешно развиваются новые отрасли информационной индустрии, существенно возрастает информационная составляющая экономической активности субъектов рынка и влияние информационных технологий на научно-технический, интеллектуальный потенциал и здоровье наций. Начало XXI века рассматривается как эра информационного общества, требующего для своего эффективного развития создания глобальной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, темпы развития которой должны быть опережающими по отношению к темпам развития экономики в целом. При этом создание российской информационно-телекоммуникационной инфраструктуры

следует рассматривать как важнейший фактор подъема национальной экономики, роста деловой и интеллектуальной активности общества, укрепления авторитета страны в международном сообществе.

В настоящее время во всем мире все еще эксплуатируется большое количество аналоговых систем, а методы частотного разделения каналов в настоящее время применяются в новейших волоконно-оптических системах передачи с разделением по длинам волн (WDM), а также в высокоэффективных системах «последней мили» xDSL.

Рост потребностей в увеличении объемов связи как с точки зрения увеличения скорости передачи информации, так и охвата новых регионов привел к появлению и становлению новых волоконно-оптических технологий, в частности технологий спектрального (частотного) мультиплексирования (уплотнения) каналов, получивших название WDM (Wave Division Multiplexing) технологий. Эти технологии позволили в сотни раз увеличить пропускную способность волоконно-оптических каналов и сетей связи; их применение, вместе с технологиями временного уплотнения (TDM), позволили достичь терабитных скоростей передачи информации по одному оптическому волокну.

Повышать пропускную способность оптического волокна в уже проложенном кабеле в принципе можно двумя способами: либо повысить скорость передачи в канале за счет применения более быстрого временного уплотнения (TDM), либо увеличить число спектральных каналов, по которым осуществляется передача сигнала по одному волокну за счет применения WDM-технологии.

Так в рамках ОКР-«Бум-3» в 2016г. отечественным предприятием АО» НТЦ ВСП «Супертел ДАЛС» совместно с рядом отечественных предприятий был разработан новейший Аппаратурно-кабельный комплекс для подводных волоконно-оптических линий связи (ПВОЛС) магистрально-распределительного типа с коммутацией оптических каналов связи

обеспечивающий передачу информации со скоростью 100 Гбит/с. за счет применения DWDM-технологии.

В комплекс входит пять изделий (таблица 3), обеспечивающих работу комплекса с помощью различных телекоммуникационных технологий, основные из которых следующие - ПЦИ, СЦИ, ОСП (DWDM).

Таблица 3

Состав аппаратурно-кабельного комплекса для подводных волоконно-оптических линий связи П-317

Техника П-317	Назначение
П-317С	Оконечная и промежуточная каналообразующая аппаратура со скоростью передачи до 2,5 Гбит/с предназначена для эксплуатации на сетях связи общего пользования в качестве каналообразующего оборудования плездохронной цифровой иерархии.
П-317С-01	Оконечная и промежуточная каналообразующая аппаратура со скоростью передачи до 2,5 Гбит/с предназначена для использования на сетях связи Заказчика с выходом на интегрируемые сети связи в качестве оборудования цифровых систем передачи синхронной цифровой иерархии.
П-317Д	Оконечная и промежуточная каналообразующая аппаратура со скоростью передачи 100 Гбит/с предназначена для использования на сети связи общего пользования с выходом на интегрируемые сети связи.
ОСМ-КМ	Оборудование синхронного мультиплексирования комбинированного предназначено для использования на сетях связи синхронной цифровой иерархии (SDH) в качестве мультиплексора ввода/вывода, терминального мультиплексора, кросс-коммутатора, линейного регенератора.

П-317Д обеспечивает:

– прием/передачу сигналов STM-1, STM-4, STM-16, STM-64 и прочее;

- объединение/разделение до 40 оптических сигналов частотной DWDM «С» диапазона длин волн в групповой сигнал по технологии DWDM;
- усиление мощности оптического сигнала на передаче в линию и на приеме из линии;
- мониторинг аварийных сообщений и рабочих характеристик и отображение их аппаратными и программными средствами.

Заключение

Таким образом, история развития электропроводной связи насчитывает несколько этапов, одним из которых является этап возникновения техники многоканальной электросвязи. Электропроводная связь непрерывно совершенствуется. На смену простейшим системам многократного телеграфирования и телефонирования в начале XX века пришли аналоговые системы передач, которые после 80-х годов были постепенно вытеснены цифровыми системами передачи.

В настоящее время на сетях связи используется различное оборудование, основанное на аналоговых и цифровых методах передачи информации. Появление волоконной оптики открыло новый этап в развитии техники систем передачи и сейчас идет бурное развитие перспективных волоконно-оптических систем передач.

Вопросы контроля знаний:

1. История развития электропроводной связи в России.
2. Этапы появления и развития телеграфной связи.
3. Этапы появления и развития телефонной связи.
4. Основоположники цифровых методов передачи электрического сигнала.
5. Цифровизация – что это, с какой целью проводилась, начало.

6. ОКР-«Бум-3»- комплекс П-317. Основные телекоммуникационные технологии, используемые в комплексе П-317.
7. Состав аппаратурно-кабельного комплекса П-317.
8. Возможности комплекса П-317Д.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гордиенко, В. Н. Многоканальные телекоммуникационные системы [Электронный ресурс]: учебник для вузов / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. - М.: Горячая линия–Телеком, 2013. - 396 с.
2. Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи. Обслуживание и эксплуатация оборудования транспортных сетей. Синхронные мультиплексоры : учебное пособие / В. А. Александров [и др.]; рец. И. Г. Штеренберг; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». - СПб.: СПбГУТ, 2013. - 86 с.
3. Цифровые системы передачи. Обслуживание и эксплуатация оборудования мультисервисных сетей доступа. Мультиплексоры первичные: учебное пособие / В. А. Александров [и др.]; рец. Д. К. Елисеев; Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». - СПб. : СПбГУТ, 2014. - 56 с.

ЛЕКЦИЯ № 2

Тема № 1 «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОЙ СВЯЗИ»

Занятие № 3 «Основные термины и определения, применяемые в системах оптической связи»

Учебные вопросы:

1. Общие термины и определения
2. Аппаратура волоконно-оптических систем передачи.
3. Оптические волокна.
4. Передающие оптоэлектронные модули.
5. Приемные оптоэлектронные модули.
6. Оптические соединители.
7. Оптические разветвители.
8. Оптические коммутационные приборы.

1 ОБЩИЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Настоящий профессионал должен знать основные **определения** и **термины** той области, где он работает.

Исходя из этого, было принято решение о проведении одного из первых занятий по основным терминам и определениям, которые необходимо знать и понимать, которые будут использоваться при обучении в университете и в дальнейшей профессиональной деятельности.

Термин (от латинского terminus граница, предел) - это слово или сочетание слов, обозначающее специальное, строго определенное значение, которое относится к той или иной области техники, науки, искусства и т. д. (технический термин, научный термин, религиозный термин). Термин не

может иметь двойного значения. Используется в специализированной литературе, тематических беседах и т. д.

Определение – это формулировка, раскрывающая содержание, сущность чего-л., характеризующая основные черты чего-л.

Определение (лат. Definitio, дефиниция) - установление смысла незнакомого термина (слова) с помощью знакомых и уже осмысленных слов.

Определение — логическая операция, раскрывающая содержание понятия.

Понятие (visio) — отображённое в мышлении единство существенных свойств, связей и отношений предметов или явлений; мысль или система мыслей, выделяющая и обобщающая предметы некоторого класса по определённым общим и в совокупности специфическим для них признакам.

Понятие — форма логического мышления, образ, фиксирующий общие и существенные признаки и свойства предметов и явлений и отношения между ними.

Термин	Определение
1. Волоконно-оптическая система передачи <i>ВОСП</i>	Система передачи, в которой все виды сигналов передаются по оптическому кабелю
2. Волоконно-оптическая линия передачи <i>ВОЛП</i>	Совокупность линейных трактов волоконно-оптических систем передачи, имеющих общий оптический кабель, линейные сооружения и устройства их обслуживания в пределах действия устройств обслуживания.
3. Волоконно-оптическая система передачи со спектральным разделением <i>ВОСП со спектральным</i>	Волоконно-оптическая система передачи, в которой при передаче в одном или двух противоположных направлениях нескольких сигналов по одному волокну оптического кабеля используются источники излучения с

<i>разделением</i>	различными длинами волн для передачи каждого сигнала.
4. Волоконно-оптическая система передачи с временным разделением <i>ВОСП с временным разделением</i>	Волоконно-оптическая система передачи, в которой для передачи в одном направлении нескольких сигналов по одному волокну оптического кабеля каждому сигналу отводят определенные интервалы времени
5. Линейный тракт волоконно-оптической системы передачи <i>Линейный тракт ВОСП</i>	Комплекс технических средств волоконно-оптической системы передачи, обеспечивающий передачу сигналов электросвязи в полосе частот или со скоростью, соответствующей данной системе передачи
6. Многомодовая волоконно-оптическая система передачи <i>Многомодовая ВОСП</i>	Волоконно-оптическая система передачи, в которой используется оптический кабель с многомодовым волокном
7. Одномодовая волоконно-оптическая система передачи <i>Одномодовая ВОСП</i>	Волоконно-оптическая система передачи, в которой используется оптический кабель с одномодовым волокном
8. Компонент волоконно-оптической системы передачи <i>Компонент ВОСП</i>	Изделие оптики, оптоэлектроники или оптико-механическое изделие, являющееся частью волоконно-оптической системы передачи, которое может быть выделено как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации, и предназначенное для выполнения одной или нескольких функций по формированию, передаче, распределению,

	преобразованию и обработке оптического сигнала
9. Оптический волновод ВОСП	Направляющая среда, структура которой обеспечивает распространение оптического излучения вдоль нее
10. Оптическая цепь ВОСП	Совокупность компонентов ВОСП, соединенных таким образом, чтобы обеспечить передачу оптического сигнала между ними
11. Оптическая коммутация ВОСП	Замыкание или размыкание оптической цепи под влиянием внешнего управляющего воздействия
12. Оптический полюс <i>Полюс</i>	Место ввода или вывода оптического излучения в компонент ВОСП
13. Оптическое соединение	Сочленение оптических полюсов компонентов ВОСП, обеспечивающее передачу оптического излучения между ними
14. Оптические вносимые потери <i>Вносимые потери</i>	Отношение суммарной мощности оптического излучения на входных оптических полюсах компонента ВОСП к суммарной мощности оптического излучения на выходных полюсах компонента ВОСП, выраженное в децибелах
15. Коэффициент передачи между оптическими полюсами <i>Коэффициент передачи между полюсами</i>	Отношение мощности оптического излучения на одном из оптических полюсов компонента ВОСП к мощности оптического излучения на другом из его оптических полюсов, выраженное в децибелах
16. Деградация компонента ВОСП <i>Деградация</i>	Ухудшение одного или нескольких параметров компонента ВОСП в период его эксплуатации
17. Нестабильность	Относительное изменение значения какого-

параметра компонента ВОСП <i>Нестабильность</i>	либо параметра компонента ВОСП в процессе воздействия неконтролируемых внешних факторов
---	---

2. АППАРАТУРА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Термин	Определение
18. Передатчик ВОСП	Совокупность передающего оптоэлектронного модуля с дополнительными устройствами преобразования электрического сигнала
19. Приемник ВОСП	Совокупность приемного оптоэлектронного модуля с дополнительными устройствами преобразования электрического сигнала
20. Регенерационный ретранслятор ВОСП	Устройство волоконно-оптической системы передачи, предназначенное для преобразования цифрового оптического сигнала в электрический, его регенерации и последующего преобразования в оптический сигнал
21. Оптический усилитель ВОСП	Устройство волоконно-оптической системы передачи, предназначенное для усиления оптического сигнала без преобразования его в электрический

3. ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА

Термин	Определение
22. Оптическое волокно <i>Волокно</i>	Оптический волновод ВОСП, выполненный в виде нити из диэлектрических материалов с

	покрытием
23. Волоконный световод <i>Световод</i>	Направляющий канал для передачи оптического излучения, состоящий из сердцевины, окруженной отражающей оболочкой (оболочками)
24. Оболочка оптического волокна <i>Оболочка</i>	Внешняя поверхность оптического волокна, имеющая постоянное значение показателя преломления по поперечному сечению и определяющая совместно с сердцевиной структуру поля распространяющегося оптического излучения
25. Сердцевина оптического волокна <i>Сердцевина</i>	Центральная поверхность оптического волокна, имеющая больший показатель преломления, чем окружающая оболочка оптического волокна, и определяющая совместно с нею структуру поля распространяющегося оптического излучения. <i>Примечание. Область сердцевины определяется заданной частью разности между максимальным значением показателя преломления и значением показателя преломления оболочки оптического волокна</i>
26. Защитное покрытие оптического волокна <i>Защитное покрытие</i>	Покрывание, наносимое на оболочку оптического волокна с целью его защиты от внешних воздействий. <i>Примечание. Защитное покрытие называется первичным, если оно наносится на оболочку оптического волокна, и вторичным, если оно наносится на первичное покрытие</i>

<p>27. Опорная поверхность оптического волокна <i>Опорная поверхность</i></p>	<p>Внешняя поверхность оболочки оптического волокна или защитного покрытия оптического волокна, служащая для юстировки при операциях оптического соединения</p>
<p>28. Центр сердцевины (оболочки, защитного покрытия) оптического волокна <i>Центр сердцевины (оболочки, защитного покрытия)</i></p>	<p>Центр окружности наименьшего диаметра на поперечном сечении оптического волокна, внутри которой может быть полностью заключено поперечное сечение сердцевины (оболочки, защитного покрытия)</p>
<p>29. Одномодовое оптическое волокно <i>Одномодовое волокно</i></p>	<p>Оптическое волокно, по которому может распространяться только одна мода</p>
<p>30. Многомодовое оптическое волокно <i>Многомодовое волокно</i></p>	<p>Оптическое волокно, по которому может распространяться более одной моды</p>
<p>31. Градиентное оптическое волокно <i>Градиентное волокно</i></p>	<p>Оптическое волокно, профиль показателя преломления которого является монотонной убывающей функцией радиуса в пределах его сердцевины</p>
<p>32. Ступенчатое оптическое волокно <i>Ступенчатое волокно</i></p>	<p>Оптическое волокно, значение показателя преломления которого постоянно в пределах сердцевины</p>
<p>33. Дисперсия оптического волокна <i>Дисперсия</i></p>	<p>Различие групповых скоростей различных составляющих оптического излучения</p>
<p>34. Межмодовая дисперсия оптического волокна <i>Межмодовая дисперсия</i></p>	<p>Дисперсия оптического волокна, обусловленная различием групповых скоростей его мод</p>

35. Внутримодовая дисперсия оптического волокна	Составляющая дисперсии, обусловленная нелинейной зависимостью постоянной распространения данной моды оптического волокна от длины волны оптического излучения
<i>Внутримодовая дисперсия</i>	
36. Дисперсия материала оптического волокна	Дисперсия оптического волокна, обусловленная зависимостью показателя преломления материала сердцевины и оболочки от длины волны оптического излучения
<i>Дисперсия материала</i>	
37. Равновесие мод оптического волокна	Режим распространения оптического излучения по оптическому волокну, при котором сохраняется постоянное распределение мощности между его модами
38. Оптический кабель	Кабельное изделие, содержащее один или несколько оптических волокон, объединенных в единую конструкцию, обеспечивающую их работоспособность в заданных условиях эксплуатации.
	<i>Примечание. При необходимости оптический кабель может содержать также токопроводящие жилы</i>

Параметры и характеристики оптического волокна

39. Диаметр сердцевины (оболочки, защитного покрытия) оптического волокна	Диаметр окружности, определяющий центр сердцевины (оболочки, защитного покрытия) на поперечном сечении оптического волокна
<i>Диаметр сердцевины</i>	

*(оболочки, защитного
покрытия)*

40. Профиль показателя преломления оптического волокна Распределение показателя преломления оптического волокна вдоль диаметра его поперечного сечения

Профиль

41. Коэффициент затухания оптического волокна Величина, характеризующая уменьшение мощности оптического излучения при его прохождении по оптическому волокну, выраженное в децибелах, отнесенное к длине оптического волокна.

Коэффициент затухания

42. Спектральная кривая затухания оптического волокна Зависимость коэффициента затухания оптического волокна от длины волны оптического излучения

*Спектральная кривая
затухания*

43. Полоса пропускания оптического волокна Интервал частот, в котором значение амплитудно-частотной модуляционной характеристики оптического волокна больше или равно половине ее максимального значения

Полоса пропускания

44. Коэффициент широкополосности оптического волокна Полоса пропускания оптического волокна длиной 1 км, выраженная в мегагерцах, умноженных на километр

Широкополосность

4. ПЕРЕДАЮЩИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ

Термин

Определение

45. Передающий Изделие оптоэлектроники, предназначенное

оптоэлектронный модуль для преобразования электрических сигналов в
ПОМ оптические.

Примечание. Типичный передающий оптоэлектронный модуль включает источник излучения ВОСП (излучатели полупроводниковых лазеров и излучающие диоды), электронные схемы (или их элементы) для преобразования входных электрических сигналов и стабилизации режимов работы, оптический соединитель или отрезок оптического кабеля, выполненные в едином конструктивном исполнении

46. Аналоговый (цифровой) передающий оптоэлектронный модуль предназначенный для преобразования аналоговых (цифровых) сигналов электросвязи
Аналоговый (цифровой) ПОМ

Параметры и характеристики передающих оптоэлектронных модулей

47. Входное напряжение передающего оптоэлектронного модуля Значение напряжения электрического сигнала на входе передающего оптоэлектронного модуля, работающего в заданном режиме эксплуатации
Входное напряжение ПОМ

48. Средняя мощность излучения передающего оптоэлектронного модуля Среднее значение мощности оптического излучения на выходном оптическом полюсе передающего оптоэлектронного модуля за заданный интервал времени, в заданном телесном угле и при заданном входном напряжении
Средняя мощность ПОМ

<p>49. Спектральная характеристика передающего оптоэлектронного модуля</p>	<p>Зависимость спектральной плотности средней мощности излучения передающего оптоэлектронного модуля от длины волны оптического излучения</p>
<p><i>Спектральная характеристика ПОМ</i></p>	
<p>50. Рабочая длина волны передающего оптоэлектронного модуля</p>	<p>Длина волны оптического излучения на выходном оптическом полюсе передающего оптоэлектронного модуля, на которой нормированы его параметры</p>
<p><i>Рабочая длина волны ПОМ</i></p>	
<p>51. Ширина спектра передающего оптоэлектронного модуля</p>	<p>Максимальное расстояние между абсциссами точек спектральной характеристики передающего оптоэлектронного модуля, соответствующих заданному уровню спектральной мощности оптического излучения</p>
<p><i>Ширина спектра ПОМ</i></p>	
<p>52. Полоса пропускания передающего оптоэлектронного модуля</p>	<p>Интервал частот, в котором значение амплитудно-частотной характеристики аналогового передающего оптоэлектронного модуля больше или равно половине ее максимального значения</p>
<p><i>Полоса пропускания ПОМ</i></p>	
<p>53. Скорость передачи передающего оптоэлектронного модуля</p>	<p>Скорость передачи символов цифрового сигнала электросвязи на входе передающего оптоэлектронного модуля, при которой его параметры сохраняют заданные значения.</p>
<p><i>Скорость передачи ПОМ</i></p>	
	<p>Примечание. В зависимости от области применения может быть задана максимальная скорость передачи передающего оптоэлектронного модуля или допустимый диапазон ее значений</p>

5. ПРИЕМНЫЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ МОДУЛИ

Термин	Определение
54. Приемный оптоэлектронный модуль <i>ПРОМ</i>	Изделие оптоэлектроники, предназначенное для преобразования оптических сигналов, передаваемых в волоконно-оптической системе передачи в электрические сигналы. Примечание. Типичный приемный оптоэлектронный модуль включает приемник излучения ВОСП, электронные схемы обработки электрического сигнала и стабилизации режимов работы, оптический соединитель или отрезок оптического кабеля, выполненные в едином конструктивном исполнении
55. Аналоговый (цифровой) приемный оптоэлектронный модуль <i>Аналоговый (цифровой)</i> <i>ПРОМ</i>	Приемный оптоэлектронный модуль, предназначенный для преобразования аналоговых (цифровых) оптических сигналов электросвязи
56. Приемно-передающий оптоэлектронный модуль	Изделие оптоэлектроники, выполняющее функции приемного и передающего оптоэлектронных модулей и выполненное в едином конструктивном исполнении с одной или несколькими блочными частями оптических соединителей или отрезками оптического кабеля
57. Аналоговый (цифровой) приемно-	Приемно-передающий оптоэлектронный модуль, выполняющий функции аналоговых

передающий	(цифровых) приемного и передающего
оптоэлектронный модуль	оптоэлектронных модулей
58. Аналого-цифровой	Приемно-передающий оптоэлектронный
приемно-передающий	модуль, выполняющий функции аналогового и
оптоэлектронный модуль	цифрового приемно-передающих
	оптоэлектронных модулей

Параметры и характеристики и приемных оптоэлектронных модулей

59. Спектральная	Зависимость вольтовой чувствительности
характеристика	приемного оптоэлектронного модуля от длины
приемного	волны принимаемого оптического излучения
оптоэлектронного модуля	

Спектральная

характеристика ПРОМ

60. Рабочая длина волны	Длина волны принимаемого оптического
приемного	излучения, для которой нормированы
оптоэлектронного модуля	параметры приемного оптоэлектронного
<i>Рабочая длина волны ПРОМ</i>	модуля

61. Полоса пропускания	Интервал частот, в котором значение
приемного	амплитудно-частотной характеристики
оптоэлектронного модуля	аналогового приемного оптоэлектронного
<i>Полоса пропускания ПРОМ</i>	модуля больше или равно половине ее
	максимального значения

62. Скорость передачи	Скорость передачи символов цифрового
приемного	сигнала электросвязи на входном оптическом
оптоэлектронного модуля	полюсе цифрового приемного
<i>Скорость передачи ПРОМ</i>	оптоэлектронного модуля, при которой его
	параметры сохраняют заданные значения.

Примечание. В зависимости от области

	применения может быть задана максимальная или минимальная скорость передачи цифрового приемного оптоэлектронного модуля, или допустимый диапазон ее значений
63. Напряжение шума приемного оптоэлектронного модуля <i>Напряжение шума ПРОМ</i>	Среднее квадратическое значение флуктуации выходного напряжения приемного оптоэлектронного модуля в заданной полосе частот в отсутствие оптического сигнала на его входном оптическом полюсе
64. Отношение сигнал-шум приемного оптоэлектронного модуля	Отношение амплитуды переменной составляющей выходного напряжения приемного оптоэлектронного модуля при заданных характеристиках принимаемого оптического сигнала к среднему квадратическому значению флуктуаций выходного напряжения при приеме немодулированного оптического излучения той же средней мощности
65. Коэффициент ошибок приемного оптоэлектронного модуля <i>Коэффициент ошибок ПРОМ</i>	Отношение числа ошибок в цифровом сигнале электросвязи на выходе цифрового приемного оптоэлектронного модуля за заданный интервал времени к числу символов в этом интервале
66. Порог чувствительности приемного оптоэлектронного модуля <i>Порог чувствительности ПРОМ</i>	Минимальная средняя мощность оптического сигнала на входном полюсе приемного оптоэлектронного модуля при заданных характеристиках этого сигнала, при которой обеспечивается заданное отношение сигнал-шум или заданный коэффициент ошибок

6. ОПТИЧЕСКИЕ СОЕДИНИТЕЛИ

Термин	Определение
67. Оптический соединитель <i>Соединитель</i>	Устройство, предназначенное для оптического соединения компонентов ВОСП
68. Разъемный оптический соединитель	Оптический соединитель, допускающий многократное оптическое соединение
69. Неразъемный оптический соединитель	Оптический соединитель, допускающий только однократное оптическое соединение
70. Однополюсный оптический соединитель	Оптический соединитель, предназначенный для оптического соединения одного выходного полюса с одним входным полюсом компонентов ВОСП
71. Многополюсный оптический соединитель	Оптический соединитель, предназначенный для соединения нескольких выходных оптических полюсов с таким же числом входных оптических полюсов компонентов ВОСП
72. Комбинированный оптический соединитель	Оптический соединитель, предназначенный для одновременного создания оптического и электрического соединения
73. Блочная часть оптического соединителя	Часть разъемного оптического соединителя, предназначенная для крепления на несущей конструкции
74. Кабельная часть оптического соединителя	Часть разъемного оптического соединителя, монтируемая на оптическом кабеле
75. Оптический наконечник	Узел оптического соединителя, предназначенный для фиксации оптического волокна

76. Центратор	Узел разъемного оптического соединителя, предназначенный для центрирования оптических наконечников или оптического волокна
77. Вилочная часть оптического соединителя <i>Вилка</i>	Часть разъемного оптического соединителя, конструктивно оканчивающаяся оптическим наконечником
78. Розеточная часть оптического соединителя <i>Розетка</i>	Часть разъемного оптического соединителя, конструктивно оканчивающаяся центратором
79. Переходная часть оптического соединителя <i>Переход</i>	Часть оптического соединителя, предназначенная для соединения однотипных частей оптического соединителя
80. Вносимые потери оптического соединителя	Потери, определяемые отношением мощности оптического излучения во входном оптическом полюсе к мощности на сочленяемом с ним выходном оптическом полюсе, выраженной в децибелах

7. ОПТИЧЕСКИЕ РАЗВЕТВИТЕЛИ

Термин	Определение
81. Оптический разветвитель <i>Разветвитель</i>	Пассивный оптический многополюсник, в котором оптическое излучение, подаваемое на часть входных оптических полюсов, распределяется между остальными его полюсами
82. Оптический ответвитель <i>Ответвитель</i>	Оптический разветвитель с одним входным и двумя выходными оптическими полюсами, предназначенный для ответвления заданной

- части мощности оптического излучения
- 83. Звездообразный оптический разветвитель** Оптический разветвитель с одним входным и более чем двумя выходными оптическими полюсами
- 84. Направленный оптический разветвитель** Оптический разветвитель, в котором коэффициенты передачи между оптическими полюсами зависят от направления распространения оптического излучения
- 85. Ненаправленный оптический разветвитель** Оптический разветвитель, в котором коэффициенты передачи между оптическими полюсами не зависят от направления распространения оптического излучения
- 86. Нейтральный оптический разветвитель** Оптический разветвитель, коэффициенты передачи между оптическими полюсами которого не зависят от длины волны в заданном диапазоне длин волн оптического излучения
- 87. Спектрально-селективный разветвитель** Оптический разветвитель, коэффициенты передачи между оптическими полюсами которого зависят от длины волны в заданном диапазоне длин волн оптического излучения
- 88. Матрица передачи оптического разветвителя** Матрица, номера строк которой соответствуют номерам входных оптических полюсов, номера столбцов соответствуют номерам выходных полюсов оптического разветвителя, а элементы матрицы представляют собой коэффициенты передачи между соответствующими входным и выходным оптическими полюсами при заданном его подключении

8. ОПТИЧЕСКИЕ КОММУТАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ

Термин	Определение
89. Оптический коммутационный прибор	Оптоэлектронное или оптико-механическое изделие, осуществляющее оптическую коммутацию ВОСП
90. Оптический переключатель	Оптический коммутационный прибор с одним входным оптическим полюсом и несколькими выходными оптическими полюсами, обеспечивающий замыкание оптической цепи ВОСП с одним из выходных полюсов
91. Оптический коммутатор	Совокупность оптических коммутационных приборов, реализующая полнодоступную схему на "n" входов и "m" выходов, объединенная конструктивно и схемно
92. Механический оптический коммутационный прибор	Оптический коммутационный прибор, в котором оптическая коммутация осуществляется путем перемещения его элементов под воздействием внешних механических сил
93. Электромеханический оптический коммутационный прибор	Оптический коммутационный прибор, в котором оптическая коммутация осуществляется путем перемещения его элементов под воздействием электрического управляющего сигнала
94. Электрооптический коммутационный прибор	Оптический коммутационный прибор, в котором оптическая коммутация осуществляется за счет электрооптического эффекта в его элементах
95. Акустооптический	Оптический коммутационный прибор, в

коммутационный прибор	котором оптическая коммутация осуществляется за счет акустооптического эффекта в его элементах
96. Магнитооптический коммутационный прибор	Оптический коммутационный прибор, в котором оптическая коммутация осуществляется за счет магнитооптического эффекта в его элементах
97. Состояние оптического коммутационного прибора	Состояние, определяемое тем, какие из оптических цепей ВОСП между входными и выходными оптическими полюсами оптического коммутационного прибора замкнуты при заданном значении внешнего управляющего воздействия
98. Срабатывание оптического коммутационного прибора	Изменение состояния оптического коммутационного прибора при изменении внешнего управляющего воздействия
99. Матрица передачи оптического коммутационного прибора	Матрица, номера строк которой соответствуют номерам входных оптических полюсов, номера столбцов соответствуют номерам выходных оптических полюсов оптического коммутационного прибора, а элементы матрицы представляют собой коэффициенты передачи между соответствующими входными и выходными оптическими полюсами при замкнутой оптической цепи между ними

Заключение

Итак, настоящий специалист – профессионал должен знать основные определения и термины той области, где он работает.

Вопросы контроля знаний:

1. Волоконно-оптическая система передачи со спектральным разделением каналов.
2. Волоконно-оптическая система передачи с временным разделением каналов.
3. Линейный тракт волоконно-оптической системы передачи
4. Волоконно-оптическая линия передачи
5. Компонент волоконно-оптической системы передачи
6. Оптические вносимые потери, формула.
7. Регенерационный ретранслятор ВОСП
8. Оптическое волокно. Виды оптических волокон.
9. Устройство оптического волокна. Профиль показателя преломления оптического волокна.
10. Мода (ведомая мода). Дисперсия, ее виды.
11. Оптический кабель. Его устройство.
12. Коэффициент затухания оптического волокна.
13. Передающий оптоэлектронный модуль, их виды. Обобщенная структурная схема ПОМ
14. Приемный оптоэлектронный модуль, их виды. Обобщенная структурная схема.
15. Оптический соединитель. Их виды.
16. Приемно-передающий оптоэлектронный модуль
17. Оптический разветвитель. Виды.
18. Оптический коммутатор. Виды.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 26599-85 Системы передачи волоконно-оптические. Термины и определения.

ЛЕКЦИЯ № 3

ТЕМА № 1 «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОЙ СВЯЗИ»

Занятие № 4 «Структура обучения на базовой кафедре «Специальные средства связи»

Учебные вопросы:

- 1 Базовая кафедра «Специальные средства связи»
- 2 Учебные дисциплины Базовой кафедры ССС
 - 2.1 Дисциплина «Введение в профессию».
 - 2.2 Дисциплина «Системы многоканальной связи специального назначения».
 - 2.3 Дисциплина «Подводные волоконно-оптические линии связи специального назначения».
 - 2.4 Научно-производственные занятия.
 - 2.5 Итоговая государственная аттестация.
- 3 Этап трудоустройства специалистов-выпускников после окончания ВУЗа.
- 4 Программа обучения по специальности «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи».

1 БАЗОВАЯ КАФЕДРА «СПЕЦИАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СВЯЗИ»

Базовая кафедра «Специальные средства связи» (ССС) Института военного образования государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» создана совместно с ОАО «СУПЕРТЕЛ» в 2012г. на основании ряда документов с целью повышения качества образовательной

деятельности СПбГУТ и углубления связей учебного процесса Университета с научно-производственной деятельностью ОАО «СУПЕРТЕЛ».

Базовая кафедра в своей деятельности руководствуется рядом документов:

- Законодательством Российской Федерации об образовании;
- Нормативными документами федерального органа управления образованием;
- Директивными документами Министерства связи и массовых коммуникаций РФ,
- Министерства образования и науки РФ;
- Уставами Университета и ОАО «СУПЕРТЕЛ»;
- Решениями Ученых советов Университета и ОАО «СУПЕРТЕЛ»;
- Положением об ИВО;
- Приказами ректора СПб ГУТ и генерального директора ОАО «СУПЕРТЕЛ»;
- Правилами внутреннего распорядка Университета и ОАО «СУПЕРТЕЛ»;
- Положением о базовой кафедре «Специальных средств связи».

Основными целями создания базовой кафедры являются:

- Укрепление связей производства с вузовским образованием и наукой;
- Внедрение инновационных технологий в разработки, проектирование, строительство и эксплуатацию сетей связи;
- Формирование кадрового резерва на основе подготовки высококвалифицированных кадров по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» по согласованным с ОАО «СУПЕРТЕЛ» учебным планам.

Основные задачи базовой кафедры состоят в усилении научной и практической направленности образовательного процесса путем:

– Участия преподавателей базовой кафедры, аспирантов и студентов в выполнении совместных с предприятием научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в осуществлении инновационных проектов, а также во внедрении полученных результатов;

– Прохождения студентами Университета производственной и преддипломной практики на базе ОАО «СУПЕРТЕЛ»;

– Решения реальных научно-практических задач в интересах ОАО «СУПЕРТЕЛ» предприятия в ходе курсового и дипломного проектирования;

– Привлечения сотрудников Университета к проведению экспертиз научных и коммерческих предложений;

– Участия базовой кафедры в формировании баз данных и баз знаний по перспективным инновационным технологиям, новым продуктам и т.п.;

– Создания центров коллективного пользования уникальным научным оборудованием и приборами.

Базовая кафедра является выпускающим, учебно-научным подразделением Университета.

В функции базовой кафедры входят организация и проведение учебной, методической, научной и воспитательной работы со студентами. Кафедра осуществляет углубленную подготовку специалистов по направлению 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи».

Кафедра «Специальные средства связи» в своей деятельности использует современную материально-техническую базу, позволяющую проводить все виды учебной и научно-исследовательской работы.

Учебная работа — Один из основных целенаправленных процессов двусторонней деятельности педагога и учащегося по передаче и усвоению знаний.

Методическая работа является целенаправленной деятельностью высшего учебного заведения по обеспечению психолого- педагогической и методической подготовки преподавателей высшей школы с целью повышения эффективности их учебной деятельности. Она способствует личностному развитию преподавателя, его педагогического мастерства по преподаванию и проведения внеаудиторной воспитательной работы со студентами.

Научная работа в Высшем учебном заведении представляет собой творческую и организаторскую деятельность профессорско-преподавательского состава, докторантов, аспирантов, соискателей и студентов, направленную на развитие теории и практики по предметной области деятельности учебного заведения и в смежных областях, а также технических систем, комплексов и технологий в интересах социально-экономического развития общества и учреждений высшего профессионального образования.

Воспитательная работа – это органическая часть учебно-воспитательного процесса ВУЗа, направленная на реализацию задач формирования и развития культуры личности будущих специалистов.

Цель воспитательной работы заключается в обеспечении саморазвития, самосовершенствования и самореализации личности студента в образовательном пространстве университета на основе актуализации духовно-нравственных, интеллектуальных, культурных ценностей, в проекции на выполнение активной гражданской роли и конкурентоспособности на рынке труда и понимание недопустимости нарушения правил и норм делового оборота в предпринимательской деятельности.

2 УЧЕБНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ БАЗОВОЙ КАФЕДРЫ ССС

На базовой кафедре ССС проводятся следующие дисциплины:

1. Введение в профессию.
2. Системы многоканальной связи специального назначения.
3. Подводные волоконно-оптические линии связи специального назначения.

Так же проводятся научно- производственные занятия:

1. Научно-исследовательские работы.
2. Учебная практика.
3. Производственная практика.
4. Преддипломная практика.
5. Итоговая государственная аттестация (защита дипломных проектов).

2.1 Дисциплина «Введение в профессию»

Дисциплине «Введение в профессию» отводится 72 часа (из них 34 часа составляют лекции и практические занятия), 1-го семестра 1-го курса.

Целью дисциплины является - получение обучающимися ознакомительной информации о специальности 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» специализации «Оптические системы связи».

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование представления:

- о профессиональной деятельности выпускника-специалиста в области инфокоммуникационных технологий и систем специальной связи;
- о порядке реализации образовательной программы Базовой кафедры ССС;

- об особенностях выбранной профессии, перспективах ее развития;
- об объектах профессиональной деятельности, их основных характеристиках.

Дисциплина «Введение в профессию» обеспечивает формирование необходимой базы для успешного овладения последующими дисциплинами учебного плана:

1. «Оптические системы передачи»,
2. «Системы многоканальной связи специального назначения».

2.2 Дисциплина «Системы многоканальной связи специального назначения»

Дисциплине «Системы многоканальной связи специального назначения» отводится 216 часов (из них 82 часа составляют лекции, лабораторные и практические занятия) 8-го семестра 4-го курса.

Основное внимание дисциплины уделяется современным направлениям развития телекоммуникационных сетей и систем с учетом их места и роли в единой системе электросвязи, в основе которой реализован принцип многоканальности.

Целью данной дисциплины является:

- комплексное рассмотрение и изучение студентами технологий и принципов построения и функционирования современных систем многоканальной связи первичных и вторичных сетей, сетей абонентского доступа;
- отработка практических вопросов настройки и эксплуатации многоканальных электропроводных и оптических систем связи специального назначения.

Дисциплина имеет выраженную практическую направленность, что позволит студентам, наряду с достаточно глубоким изучением теоретических

основ, получить твердые навыки и умения в практической эксплуатации и техническом обслуживании базовых образцов аппаратуры многоканальной электросвязи, измерении основных параметров каналов и трактов, обработке результатов измерений и установления их соответствия действующим нормам, работе с типовыми измерительными приборами.

И так, дисциплина «Системы многоканальной связи специального назначения» обеспечивает формирование фундамента подготовки будущих специалистов в области построения и обслуживания многоканальных систем специального назначения, а также, создает необходимую базу для успешного овладения последующими специальными дисциплинами учебного плана:

1. «Радиорелейные и спутниковые системы специального назначения»,
2. «Эксплуатация инфокоммуникационных систем специального назначения»,
3. «Оптические системы передачи»,
4. «Цифровые системы передачи».

2.3 Дисциплина «Подводные волоконно-оптические линии связи специального назначения»

Дисциплине отводится 144 часа (50 часов – лекции и практические занятия), 9-го семестра 5-го курса.

Данная дисциплина основное внимание уделяет изучению:

- вопросов проектирования, строительства, эксплуатации подводных волоконно-оптических линий связи специального назначения;
- методов эксплуатационных испытаний и измерений устройств, параметров каналов и трактов.

Дисциплина обеспечивает подготовку специалистов-инженеров в области построения и обслуживания ПВОЛС СН путем формирования знаний, умений и навыков, позволяющих проводить самостоятельный анализ

состава устройств (систем) и применяемого подводного оптического кабеля в подводных магистральных оптических системах связи СН.

Приобретенные знания и навыки в дальнейшем будут использованы студентами для применения в научно-исследовательских работах, а также в разработке дипломного проекта.

ВЫВОД:

Овладение дисциплиной «Подводные волоконно-оптические линии связи специального назначения» является **ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ** для последующего применения знаний и умений анализа и синтеза ПВОЛС в научно-исследовательской работе при выполнении дипломного проекта.

2.4 Научно-производственные занятия

На кафедре организуются и проводятся научно- производственные занятия:

1. Научно-исследовательская работа.
2. Учебная практика.
3. Производственная практика.
4. Преддипломная практика.

Научно-исследовательская работа (НИР) — работа научного характера, связанная с научным поиском, проведением исследований, экспериментами в целях развития творческих способностей будущих специалистов и повышении уровня их профессиональной подготовки на основе индивидуального подхода и усиления самостоятельной творческой деятельности, применения активных форм и методов обучения.

НИР отводится 432 часов 4-го и 5-го курсов.

Практики

1) Учебная практика – имеет целью упрочить теоретическую базу, полученную студентами, привить навыки самостоятельной и исследовательской работы, познакомить с современным оборудованием. Такие программы разрабатываются для студентов. Учебная практика реализуется на младших курсах в форме экскурсий на производство, наблюдением за работой компаний, консультаций у ее специалистов.

Практика на производстве – это обязательная составляющая образовательного процесса, необходимая для подготовки квалифицированных специалистов, хорошо ориентирующихся не только в профильной теории, но и в реалиях трудовых будней.

2) Учебно-производственная практика – проводится с целью познакомить студентов с содержанием будущей профессии непосредственно на самом предприятии (практическая деятельность на рабочем месте).

По программе обучения это «Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности», которой отводится 324 часов 6-го семестра 3-го курса.

3) Производственная практика – предназначена для студентов старших курсов – 4 курс. При прохождении практики студенты полностью вливаются в работу на конкретном участке в рамках выбранной специальности, учатся согласно составленному заранее плану и графику производственной практики. Знания и навыки, полученные в ходе практики, в дальнейшем могут использоваться при написании дипломной работы.

По программе обучения это «Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности», которой отводится 324 часов 8-го семестра 4-го курса.

4) Преддипломная практика

Преддипломная практика проводится на 5 курсе обучения в 10-м семестре в течение 540-а часов.

Преддипломная практика как часть основной образовательной программы проводится после освоения, студентами программы теоретического и практического обучения.

Данная практика является подготовительной стадией дипломного исследования, во время которого студенты начинают собирать исходные данные по теме предстоящего дипломного исследования.

Характер, содержание и место прохождения преддипломной практики определяются интересами студента, его предстоящей работой и темой его диплома совместно с руководителем дипломной работы.

В период прохождения преддипломной практики студент должен ознакомиться с информацией, касающиеся темы его дипломного исследования, собрать необходимый эмпирический материал. Сделать соответствующие выписки из служебной документации организации. Кроме того, студенту необходимо изучить инструкции, методические указания, нормативные документы, действующие постановления регламентирующие работу организации являющейся базой преддипломной практики.

2.5 Итоговая государственная аттестация

Базовая кафедра «Специальные средства связи» является выпускающим, учебно-научным подразделением Университета в связи с чем, по программе обучения защите выпускной квалификационной работы, включающей комплекс мероприятий, проводимых непосредственно перед написанием, последующей подготовкой к процедуре защиты и процедуру защиты выпускной квалификационной работы (дипломного проекта) отводится 324 часа на 5 курсе в 10-м семестре.

Итоговая государственная аттестация является завершающим этапом во всем курсе обучения на Базовой кафедре.

Выпускная квалификационная работа (дипломный проект) – это научно-исследовательский труд студента выпускного курса ВУЗ, который

должен объединять теоретические и практические навыки студента и в общем отражать знания, полученные им за годы обучения.

В целом выпускная квалификационная работа оценивается по следующим критериям:

1. Выпускная квалификационная работа имеет научную составляющую. Студент проводит самостоятельное научное исследование, раскрывающее новый аспект в интересующей области по изучаемой специальности, и доказывает обоснованность своей позиции.

2. Работа имеет большую ценность, если проблема, раскрываемая в ней, актуальна, а само исследование имеет теоретическую значимость и практическое применение.

3. Выпускная квалификационная работа оформляется согласно требованиям стандартов и ГОСТов.

3 ЭТАП ТРУДОУСТРОЙСТВА СПЕЦИАЛИСТОВ-ВЫПУСКНИКОВ ПОСЛЕ ОКОНЧАНИЯ ВУЗА

Область профессиональной деятельности специалиста-выпускника кафедры ССС включает сферы науки и техники, совокупность информационных технологий и средств, которые обеспечивают обмен информацией с использованием систем, комплексов и средств радио, радиорелейной, спутниковой, электропроводной и оптической связи, а также обработку и хранение информации.

Специалисты по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» готовятся к таким видам профессиональной деятельности, как:

- эксплуатационная;
- организационно-управленческая;
- производственно-технологическая;
- проектно-конструкторская;

- научно-исследовательская.

Объектами профессиональной деятельности специалистов являются:

- системы, сети, комплексы и средства специальной связи;
- способы организации и обеспечения специальной связи;
- системы управления специальной связью;
- методы и средства проектирования, моделирования, экспериментального исследования, эксплуатации систем и комплексов специальной связи, а также их производства;
- комплексы, обеспечивающие обмен информацией в экстремальных условиях с использованием инфокоммуникационных технологий и систем специальной связи.

Среди критериев успешного трудоустройства специалиста-выпускника Базовой кафедры «Специальных средств связи» можно выделить тесную связь со сферой профессиональной деятельности, а именно взаимодействие кафедры и предприятия ОАО «СУПЕРТЕЛ» с целью повышения качества образования и углубления связей учебного процесса с научно-производственной деятельностью, что в свою очередь позволяет выпускникам кафедры получить высокий статус по сравнению с выпускниками других ВУЗ-ов аналогичных профилей.

4 ПРОГРАММА ОБУЧЕНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ»

Курс обучения на Базовой кафедре «Специальных средств связи» по специальности 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи», специализация «Оптические системы связи» составляет полные 5 лет.

Общее количество часов по учебному плану составляет 14 227ч., аудиторных часов – 5 724ч.

В таблице представлены наиболее важные изучаемые дисциплины за весь курс, на которые приходится аудиторных часов 3 842ч. (общее количество часов по учебному плану составляет 10 938 ч.)

Таблица 1

Изучаемые дисциплины за курс обучения специальности 11.05.04

Курс	С-р	важность	Наименование учебных дисциплин и практик	Кол-во часов по уч.плану	Кол-во часов ауд-ых	Эк за мен	Зач ет	К П	К Р
1	1	**	Математика (Математический анализ, линейная алгебра и геометрия)	324	132	1	1		
		**	Физика	216	82	1			
			История	144	50	1			
			Иностранный язык	108	50		1		
		*	Информатика	108	50		1		
		*	Введение в профессию	72	34		1		
			История связи	72	34		1		
	2	**	Математика (Математический анализ)	180	66	1			
		**	Физика	180	66	1			
			Иностранный язык	144	50	1			
			Философия	144	50	1			
		*	Алгоритмизация и программирование	108	50		1		1
		*	Инженерная и компьютерная графика	108	50		1		
		**	Теория электрических цепей	108	50		1		
	Культурология	72	34		1				
2	3	*	Информационные технологии	180	66	1			
		**	Теория вероятностей и математическая статистика	180	66	1			
		**	Теория электрических цепей	180	66	1			1
		*	Дискретная математика	108	50		1		
		***	Общая теория связи	108	50		1		

	*	Основы криптографической защиты информации	108	50		1		
	*	Физика	108	50		1		
	*	Физические основы электроники	108	50		1		
	*	Технологии программирования	180	66	1			
	**	Вычислительная и микропроцессорная техника	144	50	1		1	
	***	Общая теория связи	144	50	1			1
	*	Прикладные пакеты моделирования	108	50		1		
	**	Физические основы электроники сверхвысоких частот и оптического диапазона	108	50		1		
		Экология	108	50		1		
	**	Электроника	108	50		1		
		Правоведение	108	34	1			
		Русский язык и культура речи	72	34		1		
	3	5	**	Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей	216	82	1	
*			Сети связи и системы коммутации	180	66	1		
**			Схемотехника	144	50	1		1
*			Электропитание устройств и систем телекоммуникаций	144	50	1		
*			Компьютерное обеспечение расчетно-проектной и экспериментально-исследовательской деятельности	108	50		1	
**			Математическое моделирование оптических процессов, элементов и устройств	108	50		1	
*			Основы надёжности средств связи	108	50		1	
*			Цифровая обработка сигналов	108	50		1	
			Социология	72	34		1	
6		*	Эксплуатация инфокоммуникационных систем специального назначения	180	66	1		
	*	Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях	144	50	1			

		*	Техническое обеспечение связи и автоматизации	144	50	1			
			Менеджмент	108	50		1		
		**	Оптоэлектронные технологии (фотоника в телекоммуникациях)	72	34		1		
		**	Технологии волоконной и интегральной оптики	72	34		1		
		*	Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности	324	0		1		
4	7	*	Радиорелейные и спутниковые системы передачи специального назначения	216	82	1			1
		*	Системы радиосвязи специального назначения	180	66	1			
		**	Оптико-электронные и квантовые приборы и устройства	144	50	1			
		**	Передающие и приемные устройства для оптических систем связи	144	50	1			
			Безопасность жизнедеятельности	108	50		1		
		*	Инфокоммуникационные системы специального назначения	108	50		1		
		*	Сети радиодоступа	108	50		1		
		*	Системы мобильной связи	108	50		1		
		*	Технологии беспроводного доступа	108	50		1		
	*	Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств	108	50		1			
	8	**	Оптические системы передачи	216	82	1			1
		**	Системы многоканальной связи специального назначения	216	82	1			
		*	Нелинейная оптика и активные элементы	108	50		1		
		**	Оптические усилители для телекоммуникационных систем	108	50		1		
			Экономика отрасли	108	50		1		
*		Научно-исследовательская работа	108	0		1			
*		Практика по получению	324	0		1			

			профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности						
5	9	**	Цифровые системы передачи	288	116	1			1
		**	Направляющие среды в телекоммуникациях	180	66	1			1
		**	Подводные волоконно-оптические линии связи специального назначения	144	50	1			
		*	Защита инфокоммуникационных систем специального назначения	108	50		1		
			Основы обработки изображений в видеоинформационных системах	108	50		1		
			Основы телевидения и видеотехники	108	50		1		
		**	Пакетные технологии в инфокоммуникациях	72	34		1		
		*	Перспективные технологии в инфокоммуникационных системах	72	34		1		
		*	Технологии измерений и мониторинга в системах мобильной связи	72	34		1		
	**	Научно-исследовательская работа	108	0		1			
	10	**	Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к процедуре защиты и процедуру защиты	324	0				
		**	Научно-исследовательская работа	216	0		1		
		*	Преддипломная практика	540	0		1		
ИТОГО:				10 938	3 842				

Дисциплинам, проводимым на базовой кафедре ССС, отводится за весь курс 166 аудиторных часов - 4,3% от общего времени (общее количество часов по учебному плану составляет 2 376 ч. - 22% от общего времени)

Рассмотрим наиболее важные дисциплины каждого курса обучения.

1 КУРС

- **Физика** - область естествознания: наука о простейших и вместе с тем наиболее общих законах природы, о материи, её структуре и движении.

- **Математика** - наука о структурах, порядке и отношениях, исторически сложившаяся на основе операций подсчёта, измерения и описания формы объектов.

- **Теория электрических цепей (ТЭЦ)** - совокупность наиболее общих закономерностей, описывающих процессы в электрических цепях.

- **Введение в профессию** – дисциплина знакомит студентов со специальностью 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи».

- **Информатика** - наука о методах и процессах сбора, хранения, обработки, передачи, анализа и оценки информации с применением компьютерных технологий, обеспечивающих возможность её использования для принятия решений.

- **Алгоритмизация и программирование** – описание систем или процессов путем составления алгоритмов их функционирования и созданию компьютерных программ.

- **Инженерная и компьютерная графика** – моделирование различных деталей с помощью компьютера.

2 КУРС

- **Общая теория связи** – теория передачи информации, изучающая процессы хранения, преобразования и передачи информации, которые составляют основу построения различных телекоммуникационных и информационных систем.

- **Теория вероятностей и математическая статистика** - раздел математики, который основывается на аксиоматическом подходе и опирается на элементарные понятия теории множеств. Теория вероятностей оперирует с действительными или мысленными опытами, имеющими случайный исход.

- **Вычислительная и микропроцессорная техника** – дисциплина, которая позволяет изучить, комбинационные цифровые устройства

(сумматоры, шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры), комбинационные цифровые устройства (сумматоры, триггеры, счетчики, регистры и т.д.).

- **Физические основы электроники сверхвысоких частот и квантовой электроники** - дисциплина о физических явлениях и эффектах в электровакуумных и полупроводниковых приборах в диапазоне СВЧ, квантовых приборах СВЧ и оптического диапазонов, физических механизмах и особенностях их работы, тенденциях развития электроники СВЧ и квантовой электроники.

- **Электроника** - дисциплина, изучающая принципы действия, разновидности и особенности использования полупроводниковых диодов и транзисторов; основные понятия микроэлектроники, активных и пассивных элементов полупроводниковых и гибридных микросхем; структурные схемы операционных усилителей и дифференциальных усилительных каскадов.

3 КУРС

- **Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей** - углубленно рассматриваются аспекты создания многоканальных и оптических телекоммуникационных систем, а также протоколы телефонных сетей общего пользования, сетей подвижной связи и документальной электросвязи.

- **Схемотехника** - научно-техническое направление, занимающееся проектированием, созданием и отладкой (синтезом и анализом) электронных схем и устройств различного назначения.

- **Математическое моделирование оптических процессов, элементов и устройств** - в данном курсе, рассматриваются законы и связи (аппарат математики), которые позволяют описать и построить модель, в виде математических уравнений, допускающие исследование и решение.

- **Оптоэлектронные технологии**— это отрасль электроники, посвященной теории и практике создания приборов и устройств, основанных на преобразовании электрических сигналов в оптические и наоборот.

- **Технологии волоконной и интегральной оптики** – раздел оптики, который изучает физические явления, возникающие и протекающие в оптических волокнах (исследование процессов распространения оптических волн в волноводах, проблем ввода (вывода) излучения в волноводы, а также вопросов генерации и детектирования световых пучков).

4 КУРС

- **Оптико-электронные и квантовые приборы и устройства** - рассматриваются общие вопросы построения и применения оптико-электронных и квантовых систем и устройств с учётом динамики внешних условий.

- **Передающие и приемные устройства для оптических систем связи** - дисциплина рассматривает устройство и принцип работы приемных и передающих оптических модулей.

- **Оптические системы передачи** - дисциплина рассматривает основные принципы построения оптических систем передачи, современное определение моделей оптических транспортных сетей, технологии мультиплексирования и сопряжения транспортных сетей, различные виды сетевых элементов с оптическими и электрическими компонентами и архитектуры сетей на их основе, включая сети синхронизации и управления.

- **Системы многоканальной связи специального назначения** - внимание дисциплины уделяется современным направлениям развития телекоммуникационных сетей и систем с учетом их места и роли в единой системе электросвязи, в основе которой реализован принцип многоканальности.

- **Оптические усилители для телекоммуникационных систем** - рассматриваются устройство и принцип работы различных видов

оптических усилителей, их использование на волоконно-оптических линиях связи.

5 КУРС

- ***Цифровые системы передачи*** – дисциплина, которая позволяет студентам изучить все основные вопросы преобразования сигналов в ЦСП, принципы работы основных узлов ЦСП, действующие стандарты, основы построения и главные узлы волоконно-оптических систем передачи.

- ***Направляющие среды в телекоммуникациях*** - дисциплина позволяет изучить конструкции и методы расчетов параметров передачи сигнала электросвязи и влияния различных направляющих систем на параметры, а также основные принципы проектирования, строительства и технической эксплуатации всего комплекса линейных сооружений связи.

- ***Подводные волоконно-оптические линии связи специального назначения*** - рассматриваются вопросы проектирования, строительства, эксплуатации ПВОЛС СН, а также методов эксплуатационных испытаний и измерений устройств, параметров каналов и трактов.

- ***Пакетные технологии в инфокоммуникациях*** - изучаются основные понятия и определения технологий сетей пакетной коммутации, назначение, виды, архитектура сетей пакетной коммутации, виды информационного обслуживания, службы и услуги электросвязи, технологии сетей передачи данных.

- ***Научно-исследовательская работа (НИР)*** — работа научного характера, связанная с научным поиском, проведением исследований, экспериментами в целях расширения имеющихся и получения новых знаний, проверки научных гипотез, установления закономерностей, научных обобщений, научного обоснования проектов.

- **Выпускная квалификационная работа** – это итоговая аттестационная работа студента, его научно-исследовательский труд, выполняемый на выпускном курсе ВУЗ. Работа должна объединять теоретические и практические навыки студента, оформляться в письменном виде с соблюдением необходимых требований и предоставляется по окончании обучения к защите перед государственной аттестационной комиссией.

ВЫВОД

Для успешного изучения таких дисциплин, как «Системы многоканальной связи специального назначения» и «Подводные волоконно-оптические линии связи специального назначения», а также для работы над дипломным проектированием и его отличной защиты **СТУДЕНТЫ ДОЛЖНЫ** на предыдущих курсах достаточно хорошо:

- освоить базовые знания в области математики, физики, естественных наук;
- изучить теорию электрических цепей и общую теорию связи;
- освоить физические основы электроники, вычислительной и микропроцессорной техники;
- изучить принципы построения и применения электронных схемотехнических устройств в аппаратуре связи;
- знать основные методы, способы и средства получения, хранения, обработки информации;
- знать основы оптики и иметь навыки проведения исследований в области оптики и фотоники при создании волоконно-оптических систем передачи;
- знать основы построения инфокоммуникационных систем, сетей и систем коммутации;
- знать основы надёжности средств связи и криптозащиты систем специального назначения;

- детально изучить принципы работы систем многоканальной связи специального назначения и оптических систем передачи, их создания и эксплуатацию;
- иметь представление о Метрологии, стандартизации и сертификации в инфокоммуникациях;
- иметь навыки самостоятельной работы на компьютере и в компьютерных сетях;
- уметь строить компьютерные модели устройств, систем и процессов с использованием универсальных пакетов прикладных компьютерных программ;
- иметь представление о сетях радиодоступа, системах мобильной связи, технологиях беспроводного доступа, об основы обработки изображений в видеоинформационных системах и технологиях измерений и мониторинга в системах мобильной связи.

Заключение

Таким образом, уважаемые студенты, Вам была представлено подробное описание обучения на нашей Базовой кафедре «Специальных средств связи» по специальности 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи», специализация «Оптические системы связи».

Вопросы контроля знаний:

1. Функции Базовой кафедры ССС.
2. Учебные дисциплины Базовой кафедры ССС.
3. Научно- производственные занятия Базовой кафедры ССС.
4. Область профессиональной деятельности специалиста-выпускника кафедры ССС.

5. Объекты профессиональной деятельности специалистов выпускника Базовой кафедры «Специальных средств связи».
6. Критерии успешного трудоустройства специалиста-выпускника Базовой кафедры «Специальных средств связи».
7. Наиболее важные дисциплины 1 и 2 курсов обучения на Базовой кафедре ССС.
8. Наиболее важные дисциплины 3 и 4 курсов обучения на Базовой кафедре ССС.
9. Наиболее важные дисциплины 5 курса обучения на Базовой кафедре ССС.
10. Какими знаниями, навыками и умениями должен владеть студент после освоения обучения по программе специальности 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Котов В.В., Стахеев И.Г., Титова О.В. Введение в профессию. Базовая, вариативная и обязательная основная дисциплина по специальности 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» (оптические системы): Рабочая программа СПб. СПбГУТ, 2018. 12с.
2. Котов В.В., Стахеев И.Г., Титова О.В. Системы многоканальной связи специального назначения. Основная профессиональная образовательная программа 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» (оптические системы): Рабочая программа СПб. СПбГУТ, 2018. 14с.
3. Дудко В.С., Котов В.В., Стахеев И.Г., Титова О.В. Подводные волоконно-оптические линии связи специального назначения. Основная профессиональная образовательная программа 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» (оптические системы): Рабочая программа СПб. СПбГУТ, 2018. 18с.

4. Образовательная программа 11.05.04 «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи» (оптические системы) – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sut.ru>, свободный.

ЛЕКЦИЯ № 4

ТЕМА № 2 «ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ»

Занятие № 1 «Основные понятия об электрических сигналах телекоммуникационных систем передачи. Основы построения аналоговых систем передачи»

Учебные вопросы:

1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ В ЭЛЕКТРОСВЯЗИ
2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
3. ВИДЫ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ, ИХ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ.

1 ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ В ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Для начала необходимо разобраться в таких понятиях электросвязи, как: информация, количество информации, скорость передачи информации и скорость телеграфирования.

Под термином “*информация*” понимают различные сведения, которые поступают к получателю. В литературе встречается наиболее часто следующее определение информации: *информация* – это сведения, являющиеся объектом передачи, распределения, преобразования, хранения или непосредственного использования. Это могут быть сведения о результатах измерения, наблюдения за каким-либо объектом и т.п. В дальнейшем нас будут интересовать лишь вопросы, связанные с информацией как объектом передачи.

Сообщение является формой представления информации. Одно и то же сведение может быть представлено в различной форме. Например, сведение о

часе приезда вашего приятеля может быть передано по телефону или же в виде телеграммы. В первом случае мы имеем дело с информацией, представленной в непрерывном виде (непрерывное сообщение). Во втором случае – с информацией, представленной в дискретном виде (дискретное сообщение). При передаче сведений по телеграфу информация заложена в буквах, из которых составлены слова, и цифрах. Очевидно, что на конечном отрезке времени число букв или цифр конечно. Это и является отличительной особенностью дискретного или счетного сообщения. В то же время число различных возможных значений звукового давления, измеренное при разговоре, даже на конечном отрезке времени будет бесконечным. В современных цифровых системах телефонной связи в канал связи передаются кодовые комбинации, несущие информацию об отсчетах квантованного аналогового сигнала. Следовательно, такой телефонный квантованный сигнал относится к классу дискретных, и поэтому будем в дальнейшем рассматривать только вопросы передачи дискретных сообщений. В случае телефонной связи под сообщением будем понимать некоторую последовательность отсчетов квантованного аналогового сигнала, передаваемую в канале связи в виде последовательности кодовых комбинаций.

К числу основных информационных характеристик сообщений относятся количество информации в отдельных сообщениях, энтропия и производительность источника сообщений.

Количество информации в сообщении (символе) определяется в битах – единицах измерения количества информации. Чем меньше вероятность появления того или иного сообщения, тем большее количество информации мы извлекаем при его получении. Если в памяти источника имеется два независимых сообщения (a_1 и a_2) и первое из них выдается с вероятностью $p(a_1) = 1$, то сообщение a_1 не несет информации, ибо оно заранее известно получателю.

Было предложено определять количество информации, которое приходится на одно сообщение a_i , выражением (1):

$$I(a_i) = \log_2 \frac{1}{p(a_i)} = -\log_2 p(a_i) \quad (1)$$

Среднее количество информации $H(A)$, которое приходится на одно сообщение, поступающее от источника без памяти, получим, применив операцию усреднения по всему объему алфавита:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^K p(a_i) \log_2 p(a_i) \quad (2)$$

Выражение (2) известно как формула Шеннона для энтропии источника дискретных сообщений. Энтропия – мера неопределенности в поведении источника дискретных сообщений. Энтропия равна нулю, если с вероятностью единица источником выдается всегда одно и то же сообщение (в этом случае неопределенность в поведении источника сообщений отсутствует). Энтропия максимальна, если символы источника появляются независимо и с одинаковой вероятностью.

Определим энтропию источника сообщений, если $K = 2$ и $p(a_1) = p(a_2) = 0,5$.

Тогда

$$H(A) = -\sum_{i=1}^2 p(a_i) \log_2 p(a_i) = -0,5 \log_2 0,5 - 0,5 \log_2 0,5 = \\ = 1 \text{ бит/ сообщ.}$$

Отсюда 1 бит – это количество информации, которое переносит один символ источника дискретных сообщений в том случае, когда алфавит источника состоит из двух равновероятных символов.

Если в предыдущем примере взять $p(a_1) \neq p(a_2)$, то $H(A) < 1$ бит/сообщ. Таким образом, один бит – максимальное среднее количество информации, которое переносит один символ источника дискретных сообщений в том случае, когда алфавит источника включает два независимых символа.

Среднее количество информации, выдаваемое источником в единицу времени, называют производительностью источника (3):

$$H'(A) = H(A)/T \text{ (бит/с)}, \quad (3)$$

где T – среднее время, отводимое на передачу одного символа (сообщения).

Для определения количества единичных элементов, передаваемых в одну секунду ввели понятие скорость модуляции (телеграфирования) (4):

$$V=1/t \text{ (Бод)} \quad (4).$$

Для каналов передачи дискретных сообщений вводят аналогичную характеристику – скорость передачи информации по каналу R (бит/с). Она определяется количеством бит, передаваемых в секунду. Максимально возможное значение скорости передачи информации по каналу называется пропускной способностью канала (5):

$$C = 2\Delta F \log \left(1 + \frac{P_c}{P_n} \right), \quad (5)$$

где $2\Delta F$ – полоса пропускания канала,

P_c – мощность сигнала,

P_n – мощность помехи.

Сообщение, поступающее от источника, преобразуется в сигнал, который является его переносчиком в системах электросвязи. Принцип передачи сообщений представлен на рисунке 1.

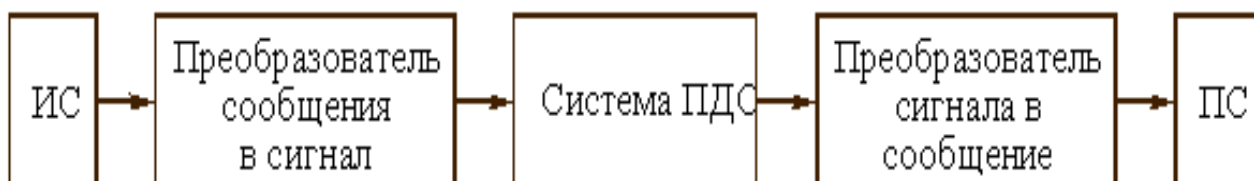


Рисунок 1 - Принцип передачи сообщений

Система электросвязи обеспечивает доставку сигнала из одной точки пространства в другую с заданными качественными показателями. Схема передачи сообщений, в состав которой входят преобразователи сообщение–сигнал–сообщение.

2 КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Информацию в широком смысле можно определить как совокупность знаний об окружающем нас мире. В таком понимании информация является важнейшим ресурсом научно-технического и социально-экономического развития общества. В отличие от материального и энергетического ресурсов, информационный ресурс не уменьшается при потреблении, накапливается со временем, сравнительно легко и просто с помощью технических средств обрабатывается, хранится и передаётся на значительные расстояния.

Связь - техническая база, обеспечивающая передачу и прием информации между удаленными друг от друга людьми или устройствами. Аналогия между связью и информацией такая же, как у транспорта и перевозимого груза.

Сообщение с помощью специальных устройств (датчиков) обычно преобразуется в электрическую величину $b(t)$ - *первичный сигнал*. При передаче речи такое преобразование выполняет микрофон, при передаче изображения - телевизионная камера. В большинстве случаев первичный сигнал является низкочастотным колебанием, которое отображает передаваемое сообщение. Следует оговорить условность этого термина. Первичный телевизионный сигнал, например, занимает область частот от нуля до 6 МГц.

Сигнал также является объектом транспортировки, а *техника связи* по существу техникой транспортирования (передачи) сигналов по *каналам связи*.

Все возможные носители сообщения (бумага с печатным или письменным текстом или рисунком, пленка с ферромагнитным слоем, механическое колебание некоторой среды, колебание тока или напряжения, электромагнитные волны и т. д.) называют сигнальными в широком смысле.

В узком смысле сигналами чаще называют лишь колебания электрического тока (напряжения), электромагнитные волны или колебания упругой среды, распространяющиеся на расстояния и несущие сообщения. Этим понятием мы и будем пользоваться в дальнейшем. Классификация сигналов приведена на рисунке 2.

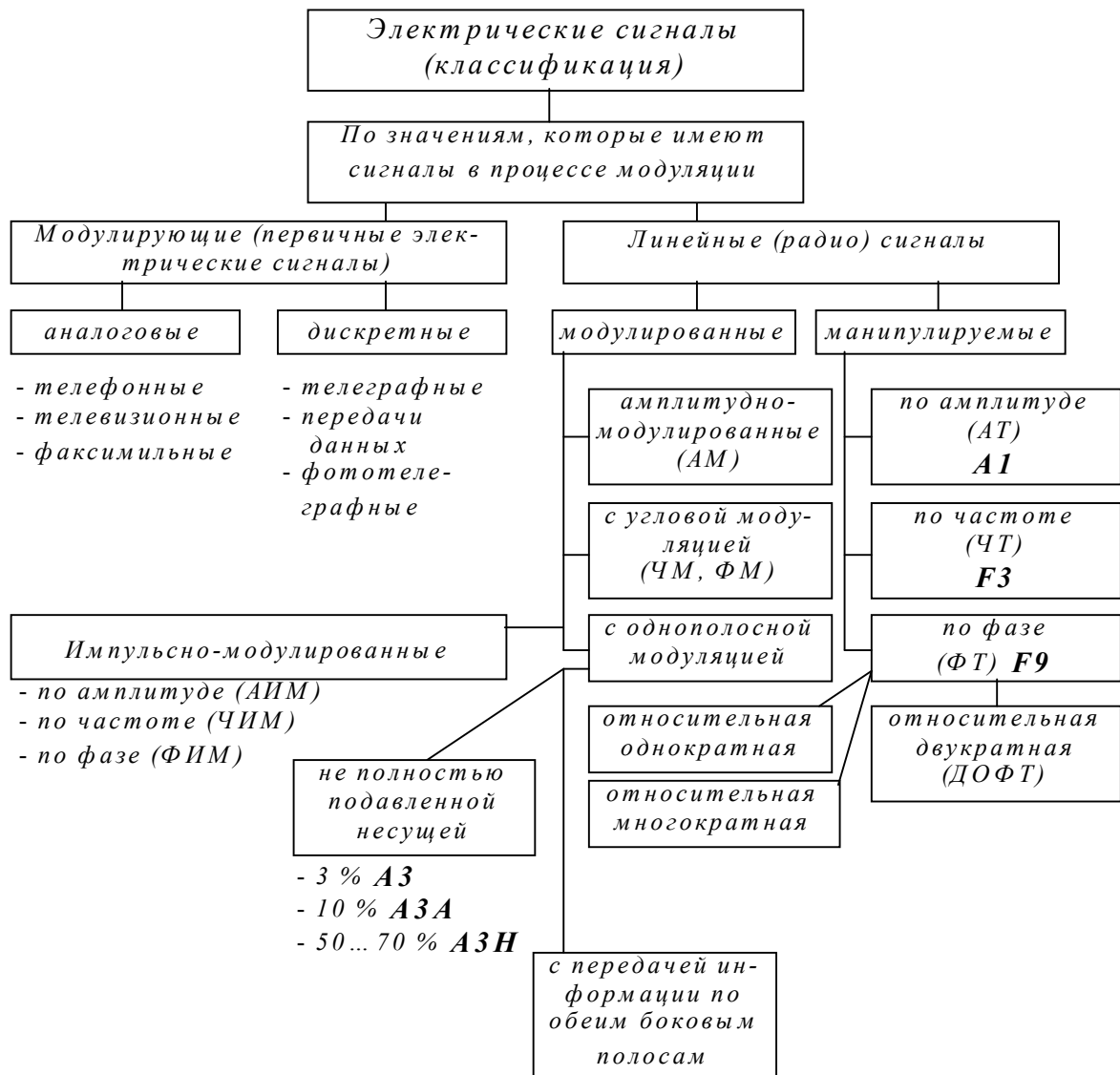


Рисунок 2 - Классификация электрических сигналов.

Сигналы, как и сообщения, могут быть *непрерывными* и *дискретными*. Информационный параметр непрерывного сигнала с течением времени может принимать любые мгновенные значения в определенных пределах.

Непрерывный сигнал часто называют *аналоговым*. Дискретный сигнал характеризуется конечным числом значений информационного параметра. Часто этот параметр принимает всего два значения.

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

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

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

Телефонный (речевой) сигнал. Звуки речи образуются в результате прохождения воздушного потока из легких через голосовые связки и полости рта и носа. Существуют два основных типа звуков речи: вокализованные и невокализованные. Вокализованные звуки образуются в результате колебаний голосовых связок с так называемой *частотой основного тона* (f , на рисунке 3), значения которой лежат в пределах от 50...80 Гц (бас) до 200...250 Гц (женский и детский голоса). Импульсы основного тона содержат большое число гармоник (до 40) ($2f$, ..., на рис. 3), причем их амплитуды убывают с увеличением частоты со скоростью приблизительно 12 дБ на октаву (кривая 1 на рис.2). (Напомним, что октавой называется диапазон частот, верхняя частота которого в два раза выше нижней).

Таким образом, амплитуда гармоники $2f$ на 12 дБ больше амплитуды гармоники $4f$, и т.д.). При разговоре частота основного тона f , меняется в значительных пределах.

Невокализованные звуки речи имеют шумовой характер.

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

Мощность телефонного сигнала. Согласно данным *ITU-T* средняя мощность телефонного сигнала в точке с нулевым измерительным уровнем на интервале активности составляет 88 мкВт. С учетом коэффициента активности (0,25) средняя мощность телефонного сигнала P равна 22 мкВт. Кроме речевых сигналов в канал связи могут поступать сигналы управления, набора номера и пр. С учетом этих сигналов среднюю мощность телефонного сигнала принимают равной 32 мкВт, т.е. средний уровень телефонного сигнала $P=1019 (32 \text{ мкВт}/1 \text{ мВт}) = -15 \text{ дБмО}$.

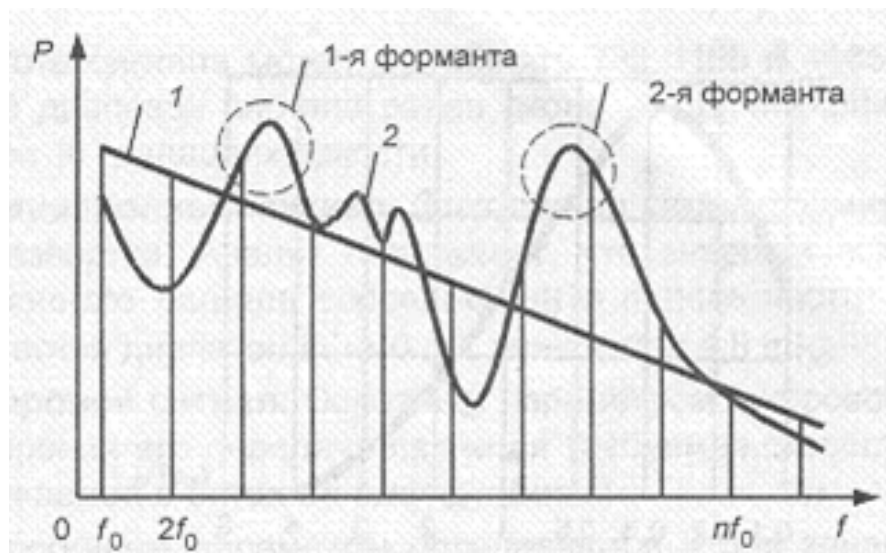


Рисунок 3 - Спектральный состав речевого состава

Коэффициент активности телефонного сообщения, т.е. отношение времени, в течение которого мощность сигнала на выходе канала превышает заданное пороговое значение, к общему времени занятия канала для разговора. При разговоре каждый из собеседников говорит приблизительно 50% времени. Кроме того, отдельные слова, фразы отделяются паузами. Поэтому коэффициент активности составляет 0,25...0,35.

Динамический диапазон телефонного сигнала определяется выраженным в децибелах отношением максимальной мощности сигнала минимальной: $D=10\lg(P/P)$; $D=35...40$ дБ.

Пик-фактор речевого сигнала $Q=10\lg(P/P)=14$ дБ. При этом максимальная мощность, вероятность превышения которой исчезающе мала, равна 2220 мкВт (+3,5 дБмО).

Энергетический спектр речевого сигнала - область частот, в которой сосредоточена основная энергия сигнала: квадрата звукового давления; P - порог слышимости (минимальное звуковое давление, которое начинает ощущаться человеком с нормальным слухом на частотах 600...800 Гц).

Речь представляет собой широкополосный процесс, частотный спектр которого простирается от 50...100 Гц до 8...10 кГц, а по некоторым данным и до 20 кГц. Установлено, однако, что качество речи получается вполне

удовлетворительным при ограничении спектра частотами 300...3400 Гц. Эти частоты приняты *ITU-T* в качестве границ *эффективного спектра речи*. При указанной полосе частот слоговая разборчивость составляет около 90%, разборчивость фраз - более 99 % и сохраняется удовлетворительная натуральность звучания.

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

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

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

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

Факсимильный сигнал. Этот сигнал формируется методом построчной развертки. Частотный спектр первичного факсимильного сигнала определяется характером передаваемого изображения, скоростью развертки и размерами сканирующего пятна. Для параметров факсимильных аппаратов, рекомендованных ИТУ Т, верхняя частота сигнала может составлять 732,

1100 и 1465 Гц. Динамический диапазон сигнала равен около 25дБ, пик-фактор равен 4,5 дБ при 16 градациях яркости.

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

Цифровой сигнал. Основным параметром цифрового сигнала с точки зрения его передачи является требуемая скорость *передачи*, выражаемая в битах на секунду (бит/с).

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

Свести параметры аналоговых сигналов к единому параметру (скорости передачи) позволяет преобразование этих сигналов в цифровые.

Согласно рекомендациям МСЭ-Т, распределение сигналов по диапазонам представлены в таблице 1.

Таблица 1

Распределение сигналов по диапазонам

Наименование диапазона	Диапазон волн	Диапазон частот
Мириаметровые (сверхдлинные)	100...10 км	3...30 кГц
Километровые (длинные)	10...1 км	30...300 кГц
Гектометровые (средние)	1000...100 м	300...3000 кГц
Декаметровые (короткие)	100...10 м	3...30 МГц
Метровые	10...1 м	30...300 МГц
Дециметровые	100...10 см	300...3000 МГц
Сантиметровые	10...1 см	3...30 ГГц
Миллиметровые	10...1 мм	30...300 ГГц
Инфракрасные	1 мм...0,75 мкм	300...4*10 ⁵ ГГц
Световые	0,75...0,1 мкм	4*10 ⁵ ...3*10 ⁶ ГГц

3 ВИДЫ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ, ИХ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Все сигналы могут быть подразделены на периодические и непериодические.

Периодическим называется сигнал, значения которого повторяются через определенные равные промежутки времени, называемые периодом повторения сигнала, или просто *периодом*. Для непериодического сигнала это условие не выполняется.

Простейшим периодическим сигналом является гармоническое колебание (6).

$$s(t) = S \sin \omega t, \quad (6)$$

где S , ω – амплитуда и угловая частота колебания.

Другим примером периодического сигнала является последовательность прямоугольных импульсов (рисунок 4, а). Как вы думаете, из чего состоит эта последовательность импульсов? Оказывается, из синусоид. Взгляните на рисунок 2. В качестве исходной синусоиды выберем такую, у которой период колебаний совпадает с периодом T прямоугольных импульсов (рисунок 4, б).

$$s(t) = S_1 \sin \omega_1 t, \quad (7)$$

где S_1 – амплитуда синусоиды, а $\omega_1 = 2\pi/T$.

Колебание (рисунок 4) заданной частоты ω_1 и амплитуды S_1 можно представить в виде графика: на оси частот отметить значение ω_1 и изобразить вертикальную линию высотой, равной амплитуде сигнала S_1 (рисунок 4, б).

Следующая синусоида имеет частоту колебаний в 3 раза большую, а амплитуду – в 3 раза меньшую.

Сумма этих двух синусоид $S_1 \sin \omega_1 t + (S_1/3) \sin 3\omega_1 t$ пока еще мало похожа на прямоугольные импульсы (рисунок 4, в). Но если мы добавим к

ним синусоиды с частотами колебаний в 5, 7, 9, 11, и т.д. раз большими, а с амплитудами в 5, 7, 9, 11, и т.д. раз меньшими, то сумма всех этих колебаний:

$$s(f) = S_1 \sin \omega_1 t + \frac{S_1}{3} \sin 3\omega_1 t + \frac{S_1}{5} \sin 5\omega_1 t + \\ + \frac{S_1}{7} \sin 7\omega_1 t + \frac{S_1}{9} \sin 9\omega_1 t + \frac{S_1}{11} \sin 11\omega_1 t + \dots,$$

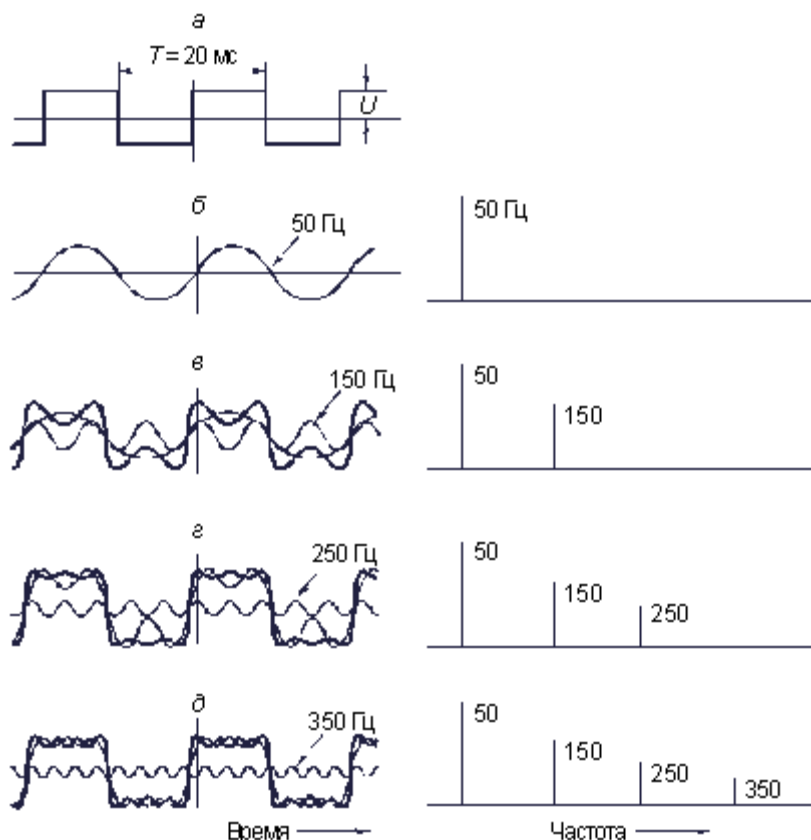


Рисунок 4 - Периодическая последовательность прямоугольных импульсов (а) и формирование ее сигнала (б–д)

где $S_1 = (4/\pi)U = 1,27U$, будет не так уже сильно отличаться от прямоугольных импульсов (рисунок 4, г и д). Таким образом, степень “прямоугольности” импульсов определяется тем, сколько синусоид со все более высокими частотами колебаний мы будем суммировать.

Может показаться, что представление прямоугольных импульсов в виде совокупности синусоид есть не более чем математический прием и не имеет никакого отношения к реальности. Однако это не так. Радиоинженерам хорошо знакомы приборы (они называются анализаторами спектров),

которые позволяют выделить каждую входящую в сложный сигнал синусоиду.

Тот факт, что сигнал произвольной формы (а не только прямоугольные импульсы) можно “разложить” на сумму обыкновенных синусоид, впервые доказал в 20-х годах прошлого века французский математик Ж. Фурье. Такой набор синусоид получил название *спектра* сигнала. Каждый сигнал (отличающийся от других по форме) имеет свой сугубо индивидуальный спектр, т.е. может быть получен только из синусоид со строго определенными частотами и амплитудами.

Непериодический сигнал легко получить из периодического, увеличивая период вплоть до (рисунок 5). Спектр амплитуд для сигналов с разными периодами показаны на рисунке 3, а–в.

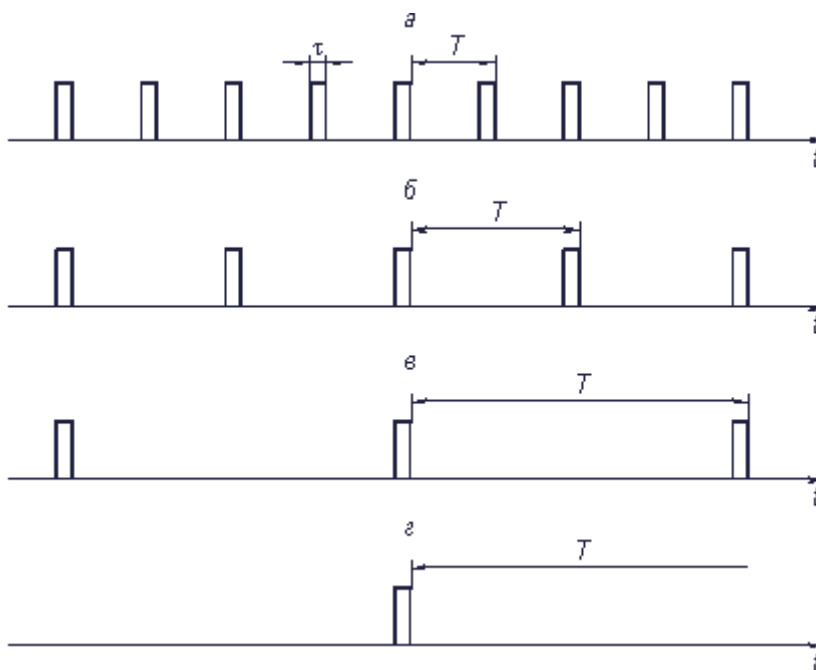


Рисунок 5 - Увеличение периода последовательности прямоугольных импульсов

При увеличении периода сигнала частота первой гармоники $\omega_1 = 2\pi/T$ понижается. Спектральные линии становятся гуще. Амплитуды гармоник уменьшаются. Последнее становится понятным, если учесть, что энергия сигнала, оставаясь неизменной, перераспределяется теперь между возросшим числом гармоник. Естественно, доля каждой гармоники в общем сигнале падает.

Следовательно, при переходе к непериодическому сигналу (например, к одиночному импульсу) мы получаем в спектре такого сигнала вместо отдельных гармоник бесконечно большое число синусоидальных колебаний с бесконечно близкими частотами, заполняющими всю шкалу частот. Причем амплитуда каждого такого колебания становится исчезающе малой, потому что на его долю приходится бесконечно малая часть энергии сигнала. Другими словами, в любой бесконечно узкой полосе частот мы всегда обнаружим синусоидальное колебание, правда, бесконечно малой амплитуды.

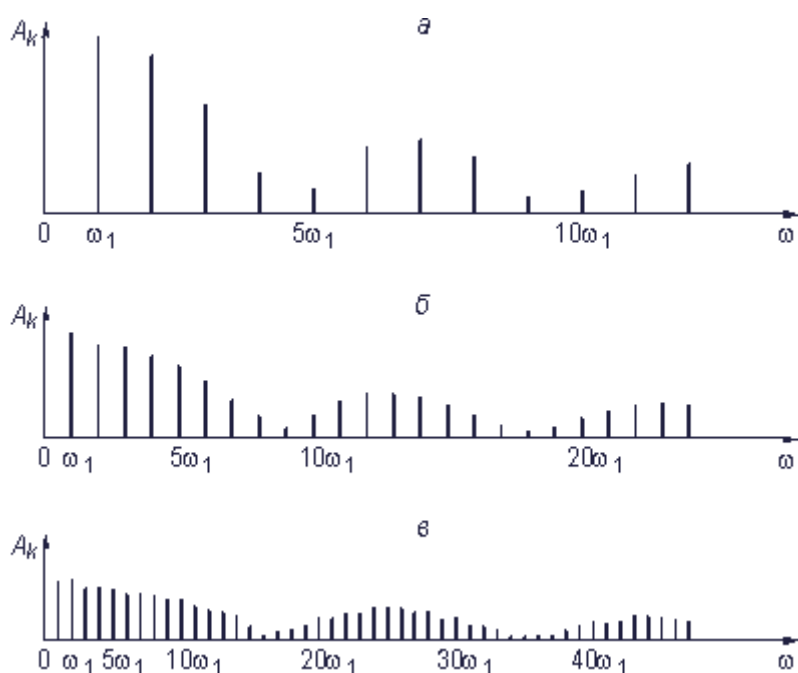


Рисунок 6 - Спектры амплитуд периодических последовательностей импульсов с разными периодами *а–в* см. в тексте

Поскольку сравнивать между собой бесконечно малые величины неудобно, то вместо амплитуд A_k по оси ординат откладывают произведение $A_k T$, которое с увеличением периода T остается постоянным. В новых координатах спектры, показанные на рисунке 4, *а–в*, будут выглядеть так, как показано на рисунке 7, *а–г*. Понятие спектра амплитуд здесь лишено смысла и заменяется понятием *спектральной плотности амплитуд*, которая

указывает, по сути, на удельный вес бесконечно малой амплитуды синусоидального колебания в любой бесконечно узкой

полосе частот. Понятие спектра фаз заменяется понятием спектральной плотности фаз. Таким образом, спектр непериодического сигнала является в общем случае не дискретным, а непрерывным.

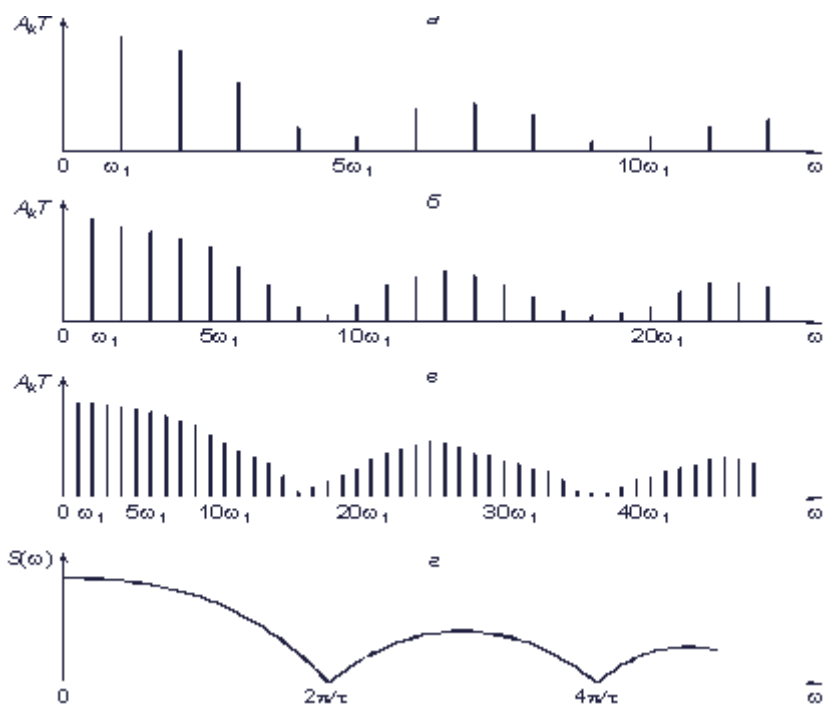


Рисунок 7 - Переход к спектральной плотности (г) одиночного прямоугольного импульса а–в см. в тексте

Уровни сигналов. Для сравнения мощностей сигналов, передаваемых по системе электросвязи, часто пользуются логарифмическими единицами – децибелами. Децибел (русское обозначение ДБ, международное – dB), как показывает приставка “деци”, составляет десятую часть другой, более крупной единицы, названной белом в честь А.Г. Белла – изобретателя телефона. Бел – это десятичный логарифм отношения двух мощностей. Если известны две мощности: P_1 и P_2 , то их отношение, выраженное в белых, определяется формулой $p = \lg(P_2/P_1)$.

Для практики бел – слишком крупная величина. Обычно отношение мощностей выражают в децибелах, для чего при расчетах пользуются формулой $p=10\lg(p_2/p_1)$.

Динамический диапазон и пик-фактор сигналов. Мгновенная мощность сигналов связи может принимать различные значения в самых широких пределах. Чтобы охарактеризовать эти пределы, вводят понятия динамического диапазона и пик-фактора сигналов.

Динамический диапазон сигнала, дБ, определяется выражением (8):

$$D_c=10\lg(P_{\max}/P_{\min}), \quad (8)$$

где P_{\max} , P_{\min} – максимальное и минимальное значения мгновенной мощности.

Пик-фактором сигнала называют отношение его максимальной мощности к средней, выраженное в логарифмических единицах:

$$Q=10\lg(P_{\max}/P_{\text{cp}}) \quad (9).$$

Пример. Пусть имеется периодический прямоугольный сигнал (рисунок 8)

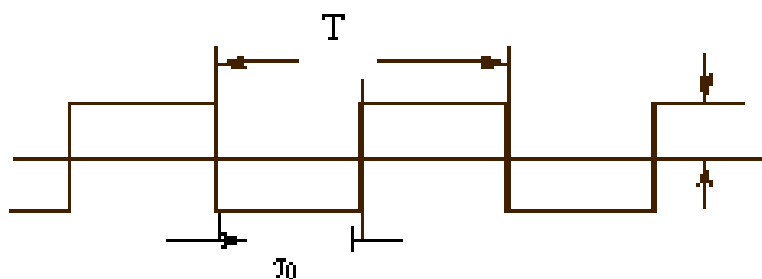


Рисунок 8 - Периодический прямоугольный сигнал.

Он может быть разложен на составляющие с частотами $f_1=1/T$, $f_3=3/T$, $f_5=5/T$ и т.д. Число составляющих бесконечно, но чем выше частота, тем меньше амплитуда. Следовательно, теоретически полоса частот, которую занимает данный сигнал, стремится к Γ .

Для передачи такого сигнала требуется канал, имеющий бесконечную полосу пропускания. Во-первых, таких каналов нет, во-вторых, чем шире полоса пропускания канала, тем он дороже. Но т.к. чем выше частота составляющей, тем ниже амплитуда, то составляющими с частотой $i f_n$ можно пренебречь.

Возьмём только составляющие f_1, f_3, f_5 . Полоса частот, которую занимают эти составляющие, $f_5 - f_1 = D f_c$.

Пусть $f_1 = 1000$ Гц,

$f_3 = 3000$ Гц,

$f_5 = 5000$ Гц.

Занимаемая этими составляющими, полоса частот:

$5000 - 1000 = 4000$ Гц.

Уменьшим длительность единичного элемента в 3 раза, тогда

$f_1 = 3000$ Гц,

$f_3 = 9000$ Гц,

$f_5 = 15000$ Гц

и занимаемая полоса 12000 Гц.

Вывод. Чем меньше длительность единичного элемента (t_0), тем шире полоса частот, занимаемая сигналом!

Отсюда следствие: чем больше скорость телеграфирования V , тем шире полоса частот, занимаемая сигналом, и тем шире требуется канал и, следовательно, тем дороже доставка информации.

Сигналы электросвязи и их спектры. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся сигналы электросвязи и обсудим их спектры.

Телефонные (речевые) сигналы. 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 9).

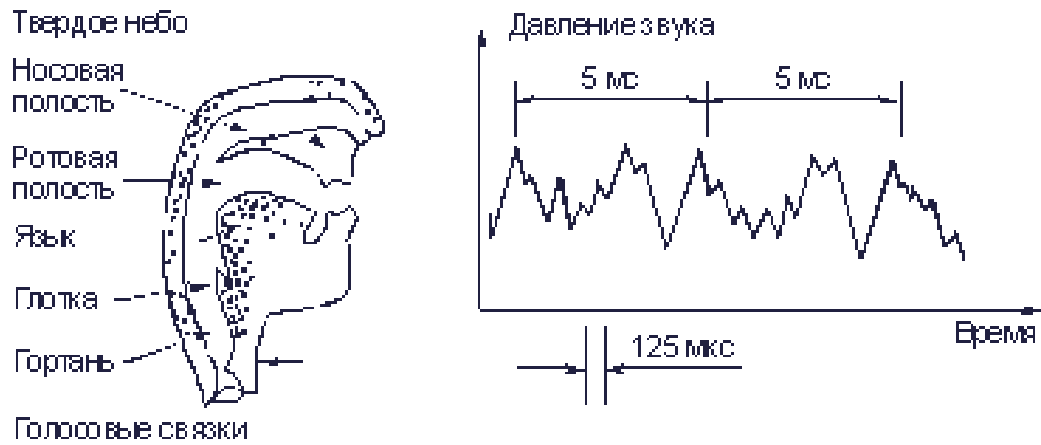


Рисунок 9 - Кривая звукового давления при произнесении звука «а» мужским голосом.

Последние выполняют роль резонаторов – 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 рисунке 8 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.



Рисунок 10 - Превращение звука в электрический сигнал с помощью микрофона.

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 10). 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.

Изучение речи показывает, что речь – это процесс, частотный спектр которого находится в пределах от 50...100 до 8000...10000 Гц. Установлено однако, что качество речи остается вполне удовлетворительным, если ограничить спектр снизу 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 рисунке 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 узнавать говорящего.

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

Спектр звукового сигнала занимает полосу частот 20...20000 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...10000 Гц, для безукоризненного воспроизведения программ вещания (каналы высшего класса) – 30...15000 Гц.

Факсимильные сигналы. Обратите внимание на то, как вы читаете книгу. Ваши 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 расстоянии 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, $0,2 \times 0,2$ 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 (рисунок 11). 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.

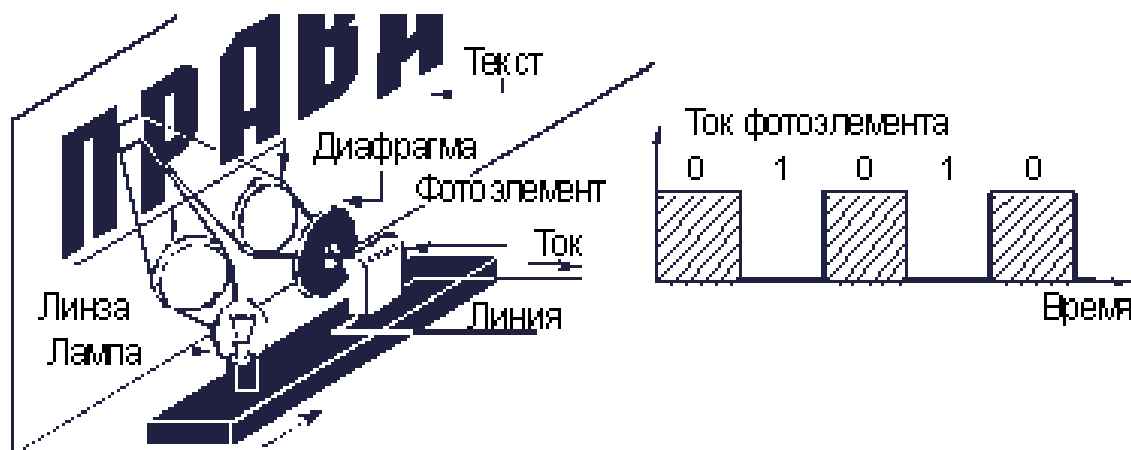


Рисунок 11 - Преобразование изображения в электрический сигнал в факсимильном аппарате.

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 0,2г 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 11).

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 при ширине пятна 0,2 мм. Если в факсимильном аппарате скорость развертки составляет 60 строк/мин, т.е. каждая строка 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 передавать 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 используют специальные высокоскоростные факсимильные аппараты с шириной светового пятна 0,05 мм. Повышенная скорость развертки позволяет передавать одну газетную полосу за 2–3 минуты. Это приводит к расширению спектра факсимильного сигнала до 180 кГц.

Телевизионные сигналы. 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 изображения (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.

Вы никогда не задумывались над тем, что вы видите на экране телевизора, когда усаживаетесь перед ним в свободный вечер? 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 начались в самом 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 не 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, напоминающая 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, создаст ток, пропорциональный освещенности. Что касается электронного луча, то он как раз и подключает поочередно каждый из 500000 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.

Подсчитаем ширину спектра телевизионного сигнала. Пусть и на этот раз чередуются черные и белые площадки (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. Значит переход с черного на белое, или наоборот, происходит примерно 6500000 раз в 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 кадров 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.

Телеграфные сигналы и сигналы 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 11000, 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.

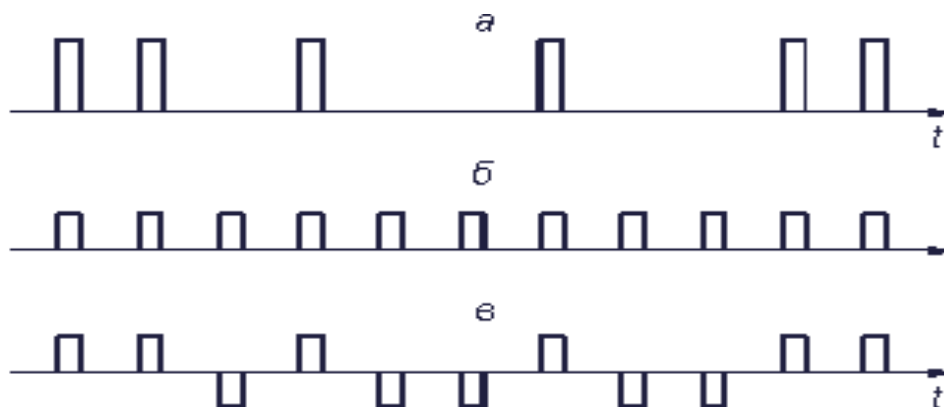


Рисунок 12 - Представление потока импульсов (а) в виде регулярной (б) и случайной (в) составляющих.

Заметим, что чем меньше длительность импульсов, отображающих сообщения, тем больше их будет передано в единицу времени. Величина, обратная длительности импульса, называется скоростью телеграфирования:

$$V = 1/\tau_{и}, \text{ где } \tau_{и} - \text{длительность импульса, с.}$$

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 длительностью $0,02$ с, что соответствует стандартной скорости телеграфирования 50 Бод. Применяются и другие скорости телеграфирования (например, 75 Бод). Скорости передачи данных существенно выше. Существует аппаратура передачи данных со скоростями $200, 600, 1200$ Бод и более.

Сигналы телеграфии и передачи данных обычно имеют вид последовательностей прямоугольных импульсов.

Посмотрите внимательно на рисунок 12. Можно представить (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 случайная последовательность имеет непрерывный заштрихованный спектр. Эти спектры показаны на рисунке 13.

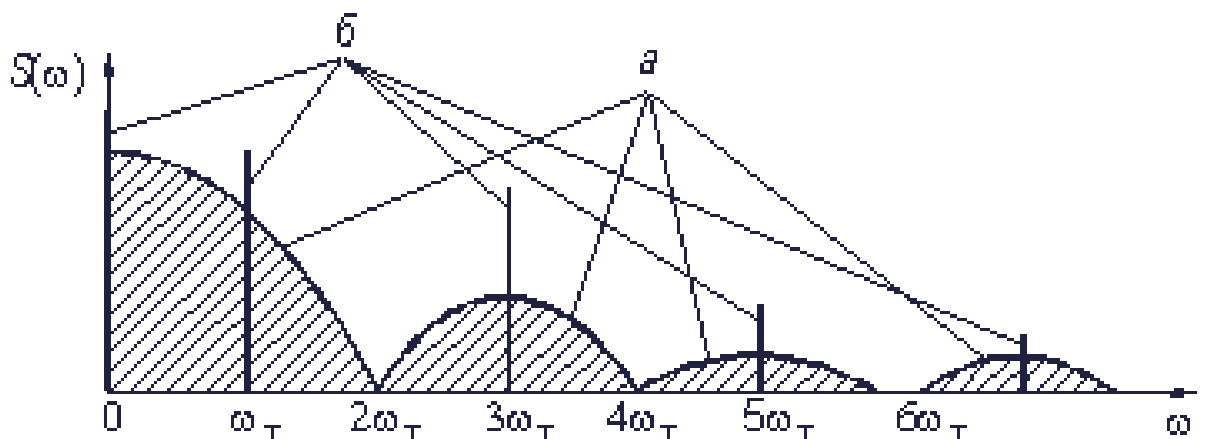


Рисунок 13 - Спектры случайной (а) и регулярной (б) составляющей потока импульсов.

При передаче двоичных сигналов (т.е. 0 и 1) нет необходимости восстанавливать в приемнике импульсы без искажений, т.е. сохранять их форму; для восстановления информации достаточно зафиксировать только знак импульса при двуполярном 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 2. Из таблицы видно, что для передачи разных видов сигналов требуется различная ширина полосы пропускания системы электросвязи.

Таблица 2

Ширина спектров сигналов электросвязи

Вид сигнала	Ширина спектра, Гц
Телеграфный	0...100
Передачи данных со скоростью 2 400 Бод	0...2 400
Телефонный	300...3 400
Звукового вещания	50...10 000
Факсимильный	
– при скорости 120 мин ⁻¹	0...1 465
– при передаче газет	0...180 000
Телевизионный	50...6 000 000

Заключение

Таким образом, существует большое количество видов аналоговых сигналов, которым присущи свои параметры и характеристики.

Вопросы контроля знаний:

1. Дайте определения понятиям «информация» и «сообщение».
2. Как измеряется количество информации?
3. Определите энтропию источника вырабатывающего независимые символы a_1 и a_2 , если $p(a_1) = 0,3$. Сравните полученное значение с вариантом,

когда $p(a_1) = p(a_2) = 0,5$.

4. Классификация электрических сигналов.
5. Виды аналоговых сигналов.
6. Параметры аналоговых сигналов.
7. Ширина спектров различных видов сигналов электросвязи.
8. На какие простейшие составляющие “раскладывается” периодически повторяющийся прямоугольный импульс?
9. Чем отличается спектр периодического сигнала от спектра непериодического сигнала?
10. 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?
11. Какие частотные диапазоны занимают спектры основных сигналов электросвязи

Список литературы

1. Кох Р., Яновский Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М.: Радио и связь, 2001. – 280 с.
2. Концепция развития рынка телекоммуникационных услуг Российской Федерации. “СвязьИнформ”, 2001, № 10. с. 9-32.
3. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей: Учебник для вузов; Под ред. В.П.Бакалова. – М.: Радио и связь, 2000. – 592 с.
4. Бакалов В.П., Воробийченко П.П., Крук Б.И. Теория электрических цепей. Учебник для вузов: под ред. В.П. Бакалова – М.: Радио и связь. 1998. – 444 с.
5. Бакалов В.П., Журавлева О.Б., Крук Б.И. Анализ линейных электрических цепей: Учебное пособие для дистанционного обучения. – Новосибирск: СибГУТИ. 2001г.

ЛЕКЦИЯ № 5

ТЕМА № 2 «ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ»

Занятие № 2 «Основные понятия об электрических сигналах телекоммуникационных систем передачи. Основы построения цифровых систем передачи»

Учебные вопросы:

- 1 ЦИФРОВОЙ СИГНАЛ
- 2 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА В ЦИФРОВОЙ
- 3 СРАВНЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ И ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ

1 ЦИФРОВОЙ СИГНАЛ

Во всем мире сейчас активно развивается цифровая телефония. Качество цифровой телефонной связи значительно выше, чем обычной, поскольку цифровые сигналы меньше боятся всякого рода помех. Цифровой телефон позволяет предоставить нам массу дополнительных услуг. Появляется возможность к одной и той же телефонной линии подключить, казалось бы, внешне совершенно различные устройства – телефонный аппарат и персональный компьютер. Через цифровую телефонную сеть владельцам персональных компьютеров открывается доступ к банкам данных с широким ассортиментом информации.

В наши дома приходит цифровое кабельное телевидение, дающее необыкновенную четкость изображения и сочность красок; на прилавках магазинов мы можем увидеть аппаратуру цифровой звуко- и видеозаписи,

обеспечивающую уникальное качество звука и изображения. Что же такое цифровой сигнал? Впервые мы столкнулись с ним, когда обсуждали факсимильный сигнал, полученный с черно-белого изображения, не содержащего полутонов.

Цифровыми сигналами являются телеграфные сигналы и сигналы передачи данных, вырабатываемые компьютерами.

Цифровой сигнал — сигнал данных, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией дискретного времени и конечным множеством возможных значений.

Сигнал, к которому применены дискретизация и квантование — это **цифровой сигнал** (рисунок 1).

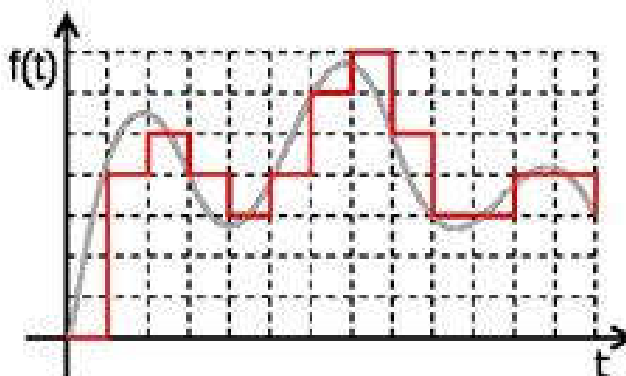


Рисунок 1 - Цифровой сигнал

Цифровой сигнал $F_{ц}(t)$ формируется в виде группы импульсов в двоичной системе счисления, соответствующих амплитуде квантованного по уровню и дискретного по времени аналогового сигнала, при этом наличие электрического импульса соответствует "1" в двоичной системе счисления, а отсутствие - "0", т.е. описывается ограниченным набором кодовых комбинаций.

Таким образом, для получения цифрового сигнала принципиально необходимо произвести три основные операции над непрерывным сигналом:

дискретизацию по времени, квантование по уровню и кодирование, рисунок 2.

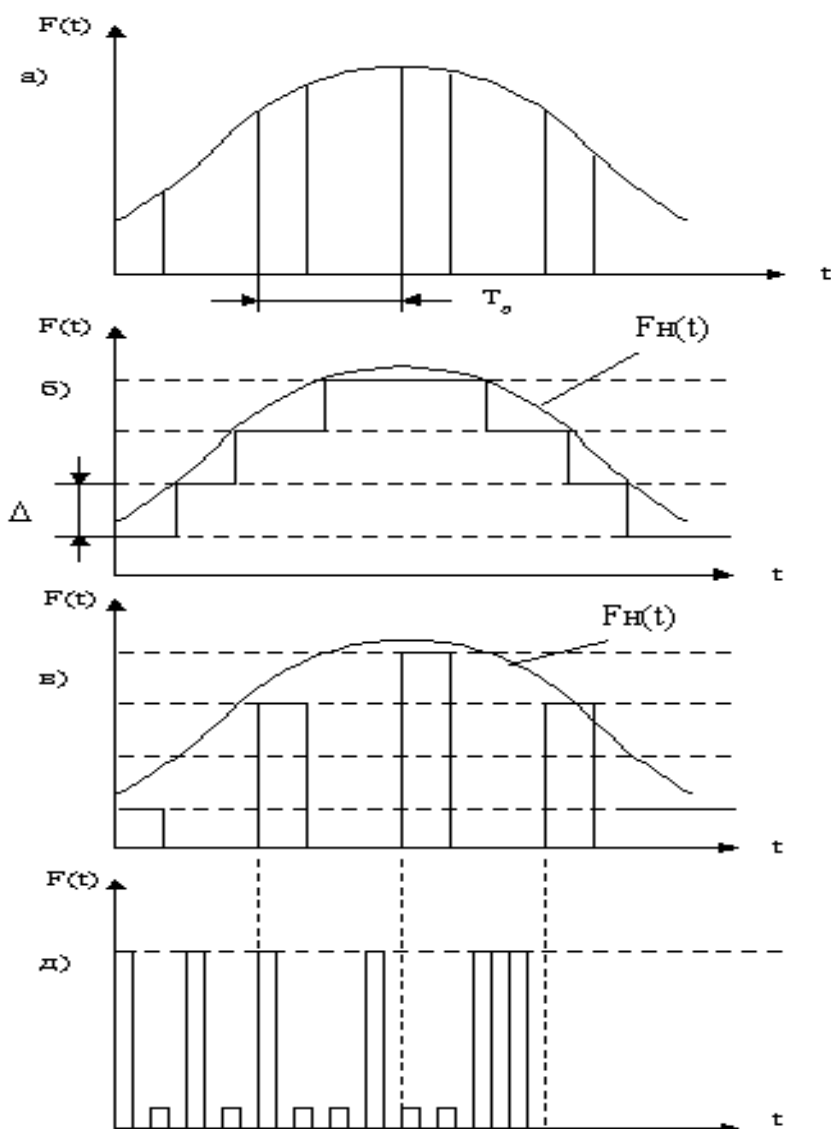


Рисунок 2 – Формирование цифрового сигнала

На рисунке 9 представлены разновидности дискретных сигналов и их отличия по виду формирования от аналогового сигнала:

- а) - дискретный по времени;
- б) - дискретный по уровню;
- в) - дискретный по времени и по уровню;
- г) - цифровой двоичный сигнал.

Если принять условно факт наличия импульса за 1, а факт его отсутствия за 0, то импульсную последовательность можно представить как чередование двух цифр: 0 и 1. Отсюда и появилось название «цифровой сигнал». Число, которое принимает только два значения: 0 и 1, называется «двоичной цифрой». В переводе на английский это звучит как «binary digit». В практику широко вошло сокращение, составленное из начальных и конечных букв английского словосочетания, т.е. слово «bit», что на английском читается как *бит*. Итак, одна позиция в цифровом сигнале есть 1 бит; это может быть либо 0, либо 1. Восемь позиций в цифровом сигнале объединяется понятием *байт*. При передаче цифровых сигналов естественным образом вводится понятие *скорости передачи* – это количество бит, передаваемых в единицу времени, чаще всего, в секунду.

Основным преимуществом цифровых сигналов является высокая помехозащищенность, так как при наличии шумов и искажений при их передаче достаточно зарегистрировать на приеме наличие или отсутствие импульсов.

2 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА В ЦИФРОВОЙ

2.1 Дискретизация аналоговых сигналов

По своей природе многие сигналы (телефонные, факсимильные, телевизионные) не являются цифровыми. Это аналоговые, или непрерывные, сигналы. Можно ли «переложить» живую человеческую речь на язык нулей и единиц, сохранив при этом все богатое разнообразие красок человеческого голоса, всю гамму человеческих эмоций? Другими словами, речь идет о том, как заменить непрерывный процесс последовательностью цифр, не потеряв при этом информации о непрерывном процессе.

Итак, **дискретизация** – это переход от непрерывного сигнала к близкому (в определенном смысле) дискретному сигналу, описываемому разрывной функцией времени. Пример дискретного сигнала – последовательность коротких импульсов с изменяющейся амплитудой (последняя выступает в данном случае в качестве информативного параметра).

Различают следующие дискретные сигналы:

1. *дискретный по времени сигнал* — сигнал, у которого каждый представляющий параметр задается функцией дискретного времени с непрерывным множеством возможных значений. *дискретный по уровню*;

2. *сигнал (квантованный)* - сигнал, у которого значения представляющих параметров задается функцией непрерывного времени с конечным множеством возможных значений. Процесс дискретизации сигнала по уровню носит название квантования.

Далее будем рассматривать принцип дискретизации аналогового сигнала по времени сигнал.

Дискретизация по времени аналогового сигнала состоит в том, что сигнал представляется в виде последовательности значений, взятых в дискретные моменты времени. Эти значения называются отсчётами. Δt называется периодом дискретизации (частотой дискретизации). Возможность точного воспроизведения такого представления зависит от интервала времени между отсчётами Δt . При выборе частоты дискретизации по времени можно воспользоваться теоремой В.А. Котельникова.

Согласно **теореме Котельникова (теорема Найквиста-Шеннона)**, всякий непрерывный сигнал, имеющий ограниченный частотный спектр, может быть полностью восстановлен по своим дискретным отсчётам, взятым с частотой более удвоенной максимальной частоты спектра F_{\max} , выражение 1 (рисунок 3),

$$\Delta t < \frac{1}{2F_{\max}} \quad (1), \quad (f_s \geq 2F_{\max})$$

где F_{\max} – максимальная частота в спектре сигнала.

Иначе можно сказать, что дискретизация по времени не связана с потерей информации, если частота дискретизации $f_{\text{дискр}} = 1/\Delta t$ в два раза выше указанной верхней частоты сигнала F_{max} .



Рисунок 3 – Дискретный по времени сигнал по теореме Котельникова

С подобной проблемой мы сталкиваемся в жизни довольно часто. Если через очень короткие промежутки времени (скажем, через 1с) наносить значения температуры воздуха на график, то получим множество точек, отражающих изменение температуры (рисунок 4.1).

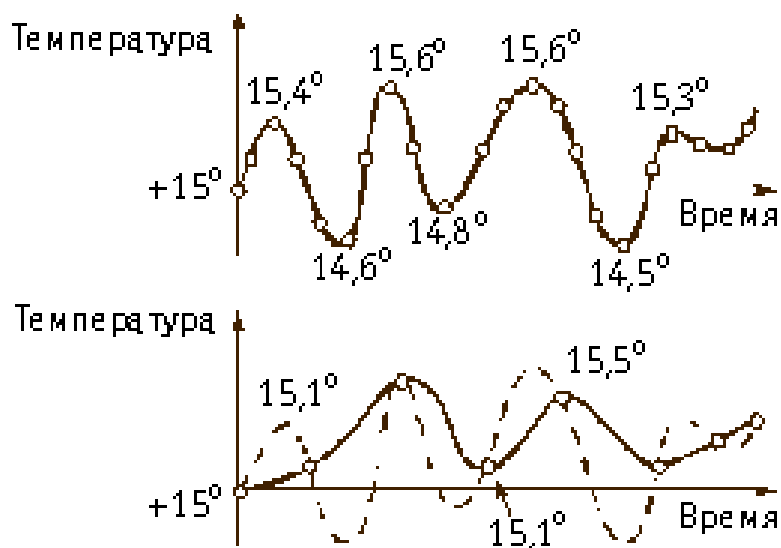


Рис. 4.1. Дискретное измерение температуры

Таким образом, имеем дело не с непрерывной кривой изменения температуры, а лишь с ее значениями, отсчитанными через определенные промежутки времени. По сути говоря, мы описали некоторый непрерывный процесс последовательностью десятичных цифр. Подобный процесс называется *дискретизацией* непрерывного сигнала. Невьясненным остался вопрос, как часто следует брать отсчетные значения непрерывной кривой, чтобы отследить все ее изменения. Так, при более длительных промежутках времени между наблюдениями за температурой воздуха не удастся отследить все ее быстрые изменения.

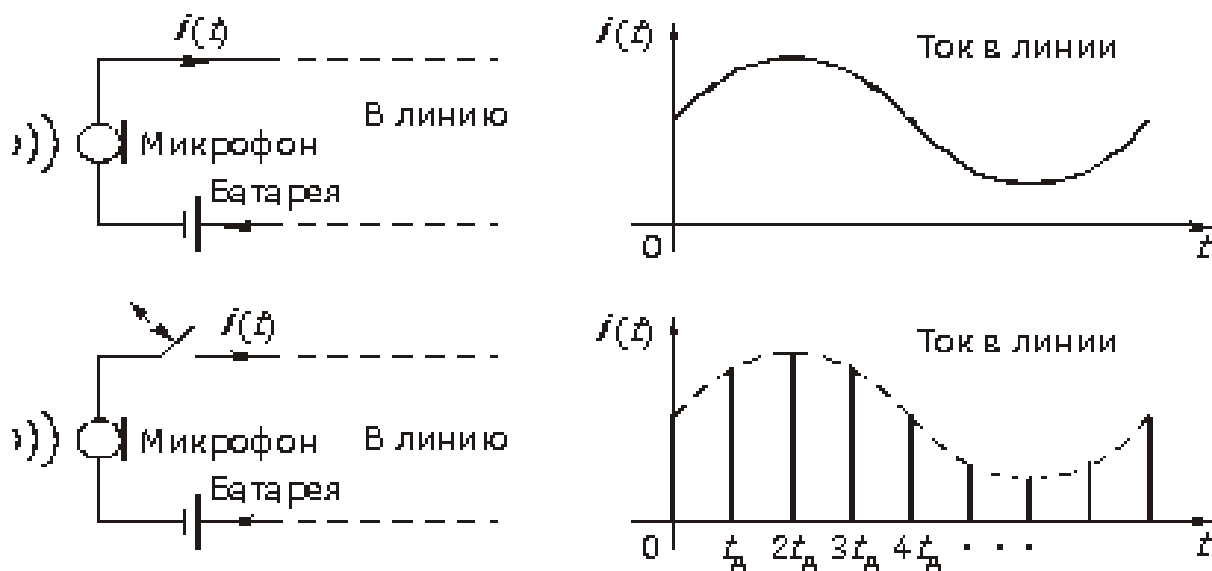


Рис. 4.2. Дискретизация телефонного сигнала

Аналогичный подход лежит в процессе дискретизации телефонного сигнала. Если в цепь микрофона (рис. 4.2), где ток является непрерывной функцией времени, встроить электронный ключ и периодически на короткие мгновения замыкать его, то ток в цепи будет иметь вид узких импульсов с амплитудами, повторяющими форму непрерывного сигнала, и представлять собой ничто иное, как дискретный сигнал (см. рис. 4.2). Интервал времени t_d через который отсчитываются значения непрерывного сигнала, называется

интервалом дискретизации. Обратная величина $1/T_d$ (обозначим ее f_d) называется частотой взятия отсчетов, или *частотой дискретизации*.

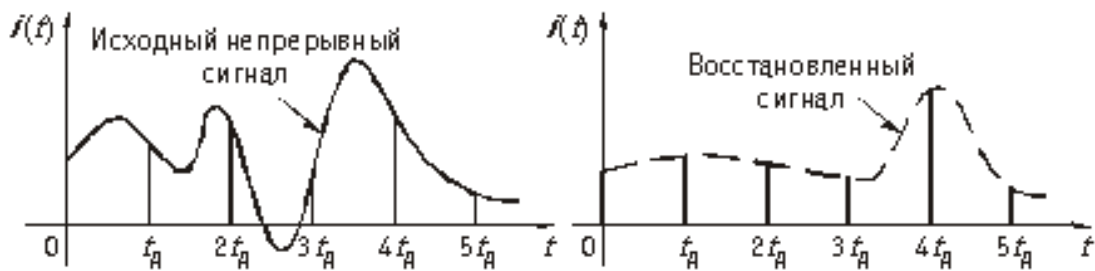


Рис. 4.3. Искажение формы восстановленного сигнала

Отсчеты непрерывного сигнала, так же, как и отсчеты температуры, следует брать с такой частотой (или через такой интервал времени), чтобы успевать отследить все, даже самые быстрые, изменения сигнала. Иначе при восстановлении этого сигнала по дискретным отсчетам часть информации будет потеряна и форма восстановленного сигнала будет отличаться от формы исходного (рис. 4.3). Это означает, что звук на приеме будет восприниматься с искажениями. Чтобы разобраться с этим вопросом, начнем с колебания струны.

Вы тронули струну, она стала вибрировать и своим движением то сжимать, то разряжать окружающий воздух или, другими словами, то повышать, то понижать его давление. Слои воздуха повышенного и пониженного давления начали разбегаться во все стороны от колеблющегося тела. Образовалась звуковая волна. Нечто похожее наблюдаем, когда бросаем камни в воду и смотрим на расходящиеся кругами волны. Гребни этих волн можно сравнить с областью сжатого воздуха, впадины – с областью разреженного воздуха. Давление звуковой волны, распространяющейся от струны, изменяется во времени по закону синусоиды. Чтобы отследить все ее изменения, очевидно, достаточно брать отсчетные значения в моменты, соответствующие максимумам и минимумам синусоиды т.е. с частотой,

превышающей по крайней мере вдвое частоту звукового колебания. Например, если струна совершает 20 колебаний/с (частота 20 Гц), то максимальное звуковое давление будет наблюдаться через каждый $1/20$ с, т.е. через 50 мс. Максимумы и минимумы кривой звукового давления разделены интервалами в 25 мс. Значит, отсчетные значения по кривой должны следовать не реже, чем через 25 мс, или с частотой 40 отсчетов/с (40 Гц). Обычно отсчетные значения на кривой берут «с запасом»: не в 2 раза чаще, чем колеблется звук, а, скажем, в 10 раз. В этом случае они очень хорошо передают форму кривой. Интересен случай, когда звуковые волны излучают две одновременно колеблющиеся струны.

На рис. 4.4 показаны три варианта: вторая струна колеблется в 2, 3 и 10 раз чаще, чем первая. Давления двух звуковых волн на пластину, помещенную на их пути, складываются. График результирующего давления уже не является синусоидой. Мы видим, что быстрые изменения в этой кривой обусловлены более высокочастотным колебанием (в данном случае колебанием второй струны).

Для того чтобы отследить все быстрые изменения результирующего звукового давления, отсчетные значения следует брать с частотой, по крайней мере вдвое превышающей частоту колебания второй струны. В последнем варианте частота взятия отсчетных значений должна превышать 400 Гц. Это означает, что отсчетные значения должны следовать не реже, чем через $1/400 = 0,0025$ с = 2,5 мс, а лучше – еще чаще, например через 0,5 мс. При изучении речи мы выяснили, что голосовые связки у человека играют роль струн. Самое высокочастотное колебание этих «струн», которое по рекомендации МСЭ необходимо еще учитывать, имеет частоту 3400 Гц. При переходе от аналогового речевого сигнала к цифровому это значение обычно округляют до 4000 Гц. Это значит, что при замене непрерывной кривой электрического тока на выходе микрофона телефонного аппарата отсчетными значениями последние необходимо брать с частотой 8000 Гц или, другими словами, не реже, чем через $1/8000 = 0,000125$ с = 125 мкс.

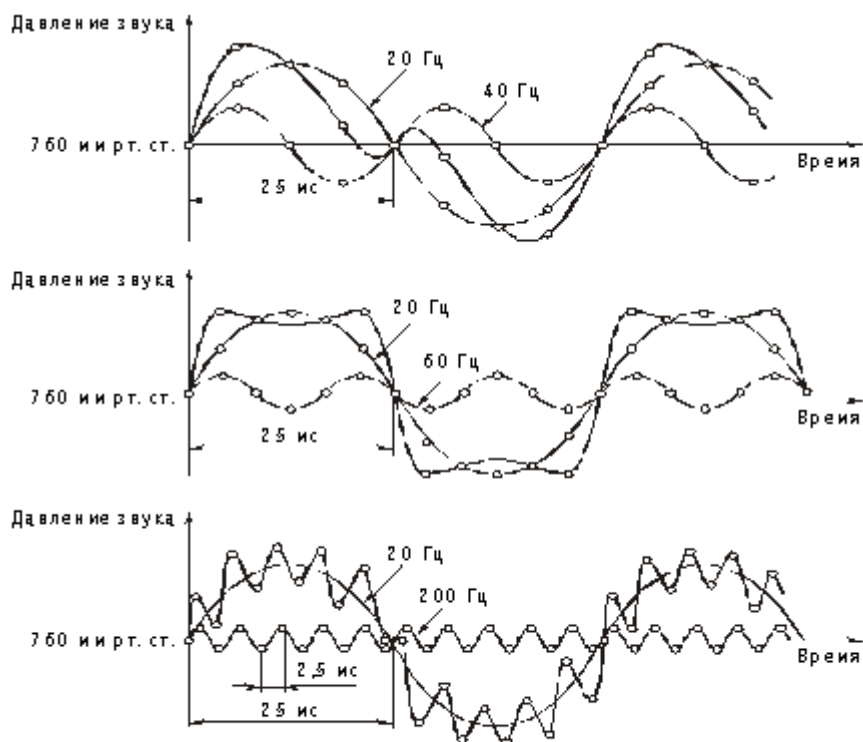


Рис. 4.4. Дискретизация кривых звукового давления при различных частотах колебания струн

Чтобы восстановить исходный сигнал из дискретного, достаточно пропустить дискретный сигнал через фильтр нижних частот с граничной частотой полосы пропускания F и подавить все «боковые» спектры. На выходе такого фильтра появится исходный непрерывный сигнал. При слишком редкой дискретизации (низкая частота дискретизации $f_{\text{д}}$ и большой интервал дискретизации $T_{\text{д}}$) будет иметь место наложение на спектр исходного сигнала «бокового» спектра. Это приведет к искажению формы исходного спектра, и значит, к отличию восстановленного сигнала от исходного.

Наоборот, более частая дискретизация позволит легко восстановить непрерывный сигнал из дискретного с помощью несложного фильтра нижних частот.

Таким образом, для безыскаженного восстановления непрерывного сигнала из дискретного необходимо частоту дискретизации $f_{\text{д}}$ выбирать не

ниже удвоенной ширины его спектра. Для телефонного сигнала, как мы это видим, $f_{Д} = 8 \text{ кГц}$. В 1933 году в работе «О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи» В.А. Котельников доказал теорему, ставшую основополагающей в теории и технике цифровой связи. Суть этой теоремы состоит в том, что непрерывный сигнал, у которого спектр ограничен частотой F , может быть полностью и однозначно восстановлен по его дискретным отсчетам, взятым с частотой $f_{Д} = 2F$, т.е. через интервалы времени $t_{Д} = 1/2F$. Мы не приводим полную математическую формулировку теоремы, а также ее доказательство, а лишь ограничиваемся указанием сути теоремы.

2.2 Квантование аналоговых сигналов

Пусть в результате дискретизации непрерывного сигнала $s(t)$ была получена последовательность узких импульсов, которая представляет собой АИМ-сигнал. Амплитуды импульсов равны в этом случае мгновенным значениям сигнала $s(t)$ в моменты $i \cdot t_{Д}$, где $i = 0, 1, 2, 3, \dots$; $t_{Д}$ – период следования импульсов, или интервал дискретизации.

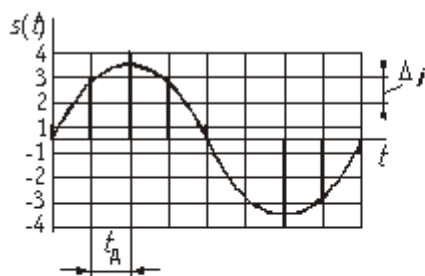


Рис. 4.5. Квантование АИМ-сигнала по уровню

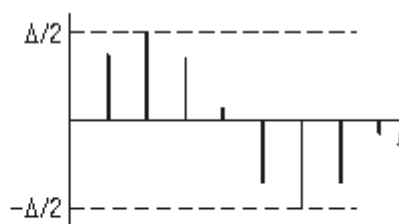


Рис. 4.6. Шум квантования

Подвергнем полученный АИМ-сигнал *квантованию* по уровню (рис. 4.5). Для этого диапазон возможных значений амплитуд (т.е. диапазон

значений первичного сигнала) делится на отрезки, называемые *шагами квантования* Δ_i . Границы этих отрезков являются разрешенными для передачи значений амплитуд импульсов.

Таким образом, амплитуды передаваемых импульсов будут равны не мгновенным значениям первичного сигнала, а ближайшим разрешенным уровням. Такое преобразование первичных сигналов можно называть *квантованной амплитудно-импульсной модуляцией* (КАИМ). Особенностью КАИМ-сигнала является то, что все его уровни можно пронумеровать (а их число хотя и большое, но конечное) и тем самым свести передачу КАИМ-сигнала к передаче последовательностей номеров уровней, которые этот сигнал принимает в моменты $i \cdot T_d$. Если шаги квантования одинаковы и не зависят от уровня квантования, то квантование называют равномерным. Возможно неравномерное квантование, при котором шаги квантования различны.

В процессе квантования возникает ошибка вследствие того, что передаваемый квантованный сигнал отличается от истинного. Эту ошибку можно рассматривать как специфическую помеху – шум квантования. Последний представляет собой случайную последовательность импульсов (рис. 4.6), максимальное значение амплитуды которых не превышает половины шага квантования.

Чем меньше шаг квантования, тем меньше шум, но больше число передаваемых разрешенных уровней.

Следующий шаг в преобразовании сигнала состоит в переводе квантованного АИМ-сигнала в цифровой. Эта операция называется *кодированием* КАИМ-сигнала.

2.3 Кодирование

Познакомимся с одним замечательным свойством нашей системы счисления – позиционностью. Изобразим какое-нибудь число, например 777.

В нем один и тот же знак «7» участвует 3 раза, но когда он стоит справа, то означает семь единиц, в центре – семь десятков, слева – семь сотен. Таким образом, при записи числа цифра может иметь начертание одно и то же, а цифровые значения – разные, в зависимости от места, позиции, разряда, на котором она стоит. Такой принцип построения чисел называется поместным, или позиционным. Для записи любых сколь угодно больших чисел достаточно десяти цифр! Каждая позиция, или разряд, числа имеет определенный «вес» (единицы, десятки, сотни и т.д.), поэтому число 777 можно расписать как

$$777 = 7 \times 10^2 + 7 \times 10 + 7,$$

т.е. как семь сотен плюс семь десятков плюс семь единиц. Если призвать на помощь алгебру и вместо чисел записать буквы, то можно получить такую общую форму представления числа:

$$M = a_n \cdot 10^n + a_{n-1} \cdot 10^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 10 + a_0$$

или сокращенную – через коэффициенты, если опускать степени числа 10:

$$M = (a_n a_{n-1} \dots a_1 a_0).$$

Число 10 является основанием системы счисления. Коэффициенты a_0 (число единиц), a_1 (число единиц второго разряда, т.е. десятков), a_2 (число единиц третьего разряда, т.е. сотен) и т.д. могут принимать значения, не превышающие основания системы: от 0 до 9. В 1665 г. французский математик Б. Паскаль показал, что за основание системы счисления можно принять любое число, а это значит, что каждое число можно представить в виде комбинации степеней не числа 10, какого-либо другого целого числа. Выберем, например, число 7:

$$M = a_n \cdot 7^n + a_{n-1} \cdot 7^{n-1} + a_1 \cdot 7 + a_0$$

Ясно, что значения коэффициентов a_0, a_1, \dots, a_n должны теперь быть не больше нового основания, т.е. 7: они могут принимать значения от 0 до 6. Представим число 777 в семеричной системе, разлагая его по степеням основания 7:

$$(777)_{10} = 2 \cdot 7^3 + 1 \cdot 7^2 + 6 \cdot 7$$

Если опустить степени числа 7, как мы делаем при записи чисел в десятичной системе, то получим семеричную запись этого числа: (2160)7. Здесь цифра 7 в индексе указывает основание системы. В пятеричной позиционной системе всего пять цифр: 0, 1, 2, 3, 4. В ней число 777 будет представляться количеством «пятерок», «двадцатипяток» и т.д.:

$$(777)_{10} = 1 \cdot 5^4 + 1 \cdot 5^3 + 1 \cdot 5^2 + 0 \cdot 5 + 2 = (111052)_5$$

Посмотрим, как будет представлено число 777 в двенадцатеричной системе. Поскольку в ней должно быть двенадцать цифр, а мы знаем только десять, то придется ввести еще две цифры, обозначив 10, скажем, буквой А, а 11 – буквой В. В результате получим

$$(777)_{10} = 5 \cdot 12^2 + 4 \cdot 12 + 9 = (549)_{12}$$

Как видите, можно придумать много различных позиционных систем счисления, отличающихся только основаниями. И все они, вообще говоря, равнозначны: ни одна из них не имеет явных преимуществ перед другой! Число 2 – это самое меньшее из чисел, которое можно взять за основание системы счисления. Поэтому в двоичной системе счисления всего две цифры: 0 и 1. Число в двоичной системе запишется так:

$$M = a_n \cdot 2^n + a_{n-1} \cdot 2^{n-1} + \dots + a_1 \cdot 2 + a_0$$

Если в десятичной системе «вес» каждой позиции (или разряда) числа равен числу 10 в некоторой степени, то в двоичной системе вместо числа 10 используют число 2. «Весы» первых 13 позиций (разрядов) двоичного числа имеют следующие значения:

12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
096	048	024	12	56	28	4	2	6				

Попробуем записать уже привычное нам число $(777)_{10}$ в двоичной системе счисления, представляя его в виде разложения по степеням двойки и отбрасывая потом при записи сами степени:

$$(777)_{10} = 1 \cdot 2^9 + 1 \cdot 2^8 + 0 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2 + 1 = (1100001001)_2.$$

Итак, в двоичной системе счисления вместо числа 777 приходится писать число 1100001001. При записи числа в двоичной системе каждая позиция занята двоичной цифрой. Вместо двух слов «двоичная цифра» употребляют одно слово: «бит». Мы уже упоминали, что оно произошло от английского «bit», составленного из начальных и конечной букв словосочетания «binary digit», что в переводе с английского означает «двоичная цифра». С помощью одного бита можно записать только число 0 и 1, двух бит – числа от 0 до 3, трех бит – числа от 0 до 7, четырех бит – числа от 0 до 15 и т.д.

Десятичная запись:														
									0	1	..	5	6	1
Двоичная запись:														
														1
	0	1	00	01	10	11	000	001	010	011	..	111	0000	

Чтобы записать числа от 0 до 1 000, потребуется десять бит. В двоичной системе счисления даже сравнительно небольшое число занимает много позиций.

Как теперь перевести дискретные значения тока микрофона в цифровой двоичный код? В XVIII веке крупнейший математик Л. Эйлер показал, что с помощью набора гирь 1, 2, 4, 8, и 16 кг можно взвесить любой груз с точностью до 1 кг.

Взвешиваемый груз (обозначим его массу через M , кг) математически можно представить как

$$\begin{aligned} M &= a_4 \cdot 16 + a_3 \cdot 8 + a_2 \cdot 4 + a_1 \cdot 2 + a_0 \cdot 1 = \\ &= a_4 \cdot 2^4 + a_3 \cdot 2^3 + a_2 \cdot 2^2 + a_1 \cdot 2^1 + a_0 \cdot 2^0, \end{aligned}$$

где каждый коэффициент $a = 1$, если соответствующую гирю кладем на чашу весов, $a = 0$, если этой гирей не пользуемся при взвешивании. Таким образом, процедура взвешивания сводится к представлению десятичного числа в двоичной системе счисления. Поясним это на примере.

Пусть нам нужно взвесить груз массой 21 кг. Поставим сначала на чашу весов самую большую гирю – массой 16 кг. Поскольку она не перетягивает груз, оставим гирю на чаше ($a_4 = 1$) и добавим следующую – 8 кг. Ясно, что в этом случае чаша весов с гирями перетянет чашу с грузом. Снимем эту гирю ($a_3 = 0$) и установим гирю массой 4 кг.

Проведя взвешивание до конца, мы увидим, что на весах остались гири массой 16, 4 и 1 кг. Значения коэффициентов $a_4 \dots a_0$ дают пятиразрядный двоичный код 10101 числа 21. Механический груз мы взвешивали на механических весах. Считая отсчетное значение тока, появляющееся на выходе электронного ключа, своего рода «электрическим грузом», можно осуществить аналогичное взвешивание, но на этот раз электронным способом. Такие «электронные весы» называли кодером (от английского coder – кодировщик).

Допустим, отсчетное значение тока равно 21 мА. Роль «электрических гирь» в кодере выполняют эталонные токи величиной 16, 8, 4, 2 и 1 мА, которые вырабатываются специальным устройством. Каждая проба – подходит та или иная «гирия» либо нет – производится в строго установленные промежутки времени.

Вся процедура взвешивания должна закончиться до прихода с электрического ключа следующего отсчетного значения тока (напомним, для звуков речи это время составляет всего 125 мкс). Итак, сначала отсчетное значение тока сравнивается с эталоном, равным 16 мА, и, поскольку оно больше эталона, на выходе кодера появляется импульс тока, что соответствует двоичной цифре 1.

В следующий интервал времени к первому эталонному току добавляется второй величиной 8 мА. Теперь суммарный вес «электрической гири» равен 24 мА. Это больше отсчетного значения, поэтому второй эталонный генератор отключается. На данном интервале времени импульс тока на выходе кодера не появляется, что соответствует двоичной цифре 0. Думаем, читатели без труда завершат процедуру взвешивания.

Таким образом, за время взвешивания одного отсчетного значения кодер вырабатывает серию импульсов, полностью повторяющую двоичный код отсчетного значения микрофонного тока. Нельзя не напомнить вновь еще об одном виде искажений, появляющихся при переводе отсчетного значения тока в двоичный код.

Так, если кодированию подвергается отсчетное значение 21,7 мА, кодер все равно выдает код 10101, как и в случае целого значения 21 мА. Это и понятно, поскольку «взвешивание» проводилось с точностью до 1 мА – веса самой меньшей «электрической гири». Такое округление чисел в технике называется квантованием, а разница между отсчетным значением тока и величиной, набираемой двоичным кодом, – ошибкой квантования. Однако и искажения, вызванные ошибками квантования, можно если и не исключить совсем, то по крайней мере значительно уменьшить.

Пусть, например, самая маленькая «электрическая гиря» будет иметь «вес» 0,125 мА. Тогда, взяв восемь «гирь», соответствующие 16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125 мА, можно будет «взвешивать» отсчетные значения тока с точностью до 0,125 мА. При этом число 21 представится 8-разрядным двоичным кодом 10101000, а число 21,7 – кодом 10101101, где последние три цифры означают добавку 0,625 к числу 21. Применение же 12-разрядного двоичного кода позволяет вместо числа 21,7 набрать весьма близкое к нему число 21,6921895.

Успехи в развитии интегральной микросхемотехники позволили объединить в корпусе одной небольшой микросхемы электронный ключ и кодер. Эта микросхема преобразует непрерывную (часто говорят аналоговую) электрическую величину в двоичный цифровой код и известна под названием *аналого-цифрового преобразователя* (АЦП). Выпускаются АЦП с 8-, 10- и 12-разрядными двоичными кодами. Интересно подсчитать, какую скорость имеет цифровой поток, полученный из непрерывного телефонного сигнала путем дискретизации его через 125 мкс и 8-разрядного кодирования. За секунду ток микрофона изменяется 8000 раз. В 8-разрядном кодере каждое измеренное значение тока представляется двоичным словом из 8 бит. Значит, каждую секунду в линию отправляется $8000 \times 8 = 64000$ бит, т.е. скорость цифрового потока равна 64 кбит/сек.

Кодовая комбинация из 8 бит, образующая двоичное слово, называется *байтом*. Символы в каждой кодовой комбинации отделены друг от друга временным интервалом t_T , т.е. следует с частотой $f_T = 1/t_T$. Эта частота называется *тактовой*.

Преобразование отсчетов непрерывного сигнала в двоичный код называется *импульсно-кодовой модуляцией* (ИКМ). В настоящее время этот способ получения цифровых сигналов из аналоговых наиболее распространен. Системы передачи, использующие данное преобразование сигналов, называются ИКМ системами.

В иностранной литературе используется аббревиатура РСМ (от английских слов pulse code modulation, что в переводе как раз и означает импульсно-кодовая модуляция).

2.4 Декодирование

Все устройства, предназначенные для демодуляции сигналов, будут рассмотрены при изучении конкретных систем передачи и аппаратуры, входящей в состав этих систем. При приеме сигналов ИКМ для восстановления аналогового сигнала необходимо преобразовать цифровой сигнал (последовательность двоичных импульсов) в квантованный АИМ сигнал (такое преобразование называется *декодированием*) и затем осуществить операцию демодуляции, т.е. выделения из АИМ-сигнала аналогового сигнала $s(t)$.

Итак, при использовании ИКМ выполняются следующие преобразования аналогового сигнала: в пункте передачи – амплитудно-импульсная модуляция, квантование и кодирование; в пункте приема – декодирование и демодуляция квантованного АИМ сигнала.

Полученный на приеме аналоговый сигнал отличается от переданного, так как образуется из квантованных импульсов, амплитуды которых равны не мгновенным значениям сигнала $s(t)$, а ближайшим разрешенным значениям.

Таким образом, операция квантования вносит в процесс передачи сигнала неустранимую ошибку, которая тем меньше, чем больше уровней квантования.

А как узнать, какое десятичное число скрывается под его записью в двоичной системе? Правило простое: под каждым разрядом двоичного числа следует записать его «вес». Те «веса», которые соответствуют единичным разрядам, нужно сложить. Полученная сумма и явится десятичным числом.

Вот перед нами число 1001011, записанное в двоичной нумерации. Поступаем согласно сказанному выше:

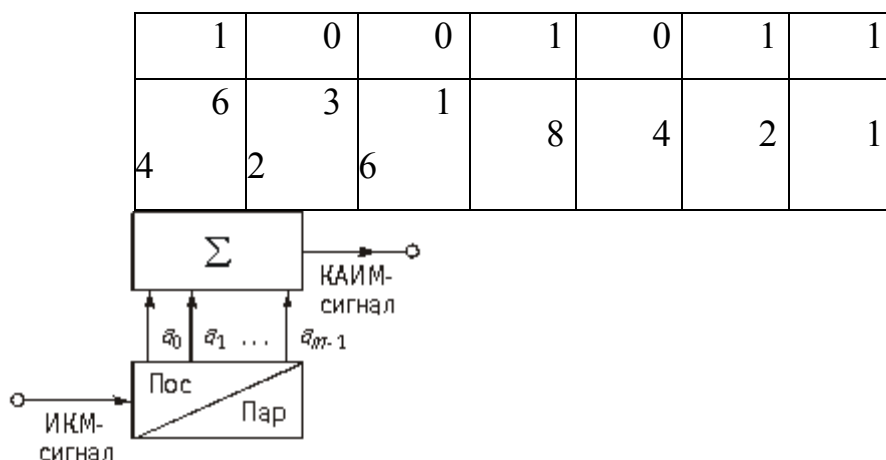


Рис. 4.7. Декодер ИКМ-сигнала

Как видим, заинтересовавшее нас число складывается из единицы, двойки, восьмерки и шестидесяти четырех ($1 + 2 + 8 + 64$). Очевидно, оно равно 75. Попробуйте самостоятельно определить, какому числу соответствует его двоичная запись 10110011. В состав декодера входит преобразователь последовательного кода в параллельный (рис. 4.7), на выходах которого появляется набор единиц и нулей, соответствующий принятой кодовой комбинации. Каждая единица (токовый импульс) поступает на вход сумматора с весом, где увеличивается в 2^k раз. На выходе сумматора возникает импульс, амплитуда которого определяется кодовой комбинацией на входе декодера.

Например, при прохождении кодовой комбинации 0100110 на первый, четвертый, пятый и седьмой входы сумматора напряжение не подается (бестоковые импульсы), а на второй, третий и шестой входы подается напряжение, которое увеличивается соответственно в 2^1 , 2^2 и 2^5 раз. На выходе сумматора появляется напряжение, пропорциональное $2^1 + 2^2 + 2^5 = 38$, т.е. квантованный АИМ-сигнал. На следующем шаге необходимо из отсчетных значений тока получить непрерывный ток. Сделать это нам поможет обычный конденсатор небольшой емкости, который при

кратковременном воздействии на него тока (т.е. отсчетного значения) мгновенно зарядится и будет удерживать заряд до следующего кратковременного воздействия.

Отметим еще раз, что восстановленная таким путем кривая непрерывного тока будет несколько отличаться от той, которая была получена на клеммах микрофона: она будет иметь плоские ступеньки между отсчетными значениями.

Можно сказать, что процесс взятия отсчетных значений и последующего восстановления непрерывной кривой тока микрофона сопровождается специфическими искажениями, которые могут повлиять на качество воспроизведения звука. Однако на практике для восстановления тока используют не конденсатор, а более сложные схемы, делающие форму восстановленного тока похожей на форму исходного тока и тем самым сводящие на нет действия указанных искажений.

3 СРАВНЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ И ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ

Можно выделить несколько достоинств аналоговых методов передачи:

– Высокая помехоустойчивость - при существенном искажении формы сигнала в аналоговой системе передач остается возможность восстановить сигнал на приеме, однако в ЦСП при низком значении порога $S_{\text{пор}}$ отношения сигнал/шум восстановить сигнал не получится.

– Частотная эффективность по сравнению с ЦСП.

Аналоговые методы передачи имеют следующие недостатки:

– Излишняя избыточность. То есть аналоговая информация в них не отфильтрована – несут много лишних информационных данных.

– Низкая безопасность. Он практически полностью беспомощен перед неавторизированными вторжениями извне.

– Отсутствие конкретной дифференциации уровней дискретизации – качество и количество передаваемой информации ничем не ограничивается.

– Аналоговая связь - это связь реального времени. Организовать задержанную передачу информации (буферизацию) в системе аналоговой связи весьма затруднительно, то есть не невозможно.

– Сложность обработки информации, если такая обработка нужна (частотная фильтрация, коррекция, свёртки сигналов, различные эффекты и т. д.).

К достоинствам цифровых методов передачи относятся:

– высокая помехоустойчивость обеспечивает возможность работы при малых значениях отношения сигнал/шум, если превышено значение порога $S_{\text{пор}}$.

– возможность регенерации;

– простота группообразования по сравнению с системами с ЧРК, так как временные мультиплексоры и демультимплексоры существенно проще в реализации, чем система гетеродинов и частотно-избирательных фильтров;

– возможность интеграции услуг телефонии, передачи данных и телевидения, поскольку при преобразовании в цифровую форму сигналы для всех видов трафиков приобретают универсальную форму (двоичный сигнал);

– возможны различные процедуры обработки цифровых сигналов (фильтрация, кодирование и др.) в процессе их передачи и приема в реальном масштабе времени;

– экономичность производства и эксплуатации оборудования ЦСП, его малый вес и габариты благодаря применению технологий современной микроэлектроники.

– замечательное свойство цифровых сигналов - возможность количественной оценки любых самых различных видов информации.

К недостаткам цифровых методов передачи можно отнести:

- расширение частотного диапазона, необходимого для передачи информации. Это происходит вследствие того, что информация передается последовательностью коротких импульсов с широким спектром;

- необходимость четкой синхронизации процессов во времени.

Однако, не смотря на достоинства и недостатки АСП и ЦСП, в настоящее время на сетях связи используются оба метода передачи информации.

Более подробно со всеми достоинствами и недостатками АСП и ЦСП Вы познакомитесь позже.

Заключение

Таким образом, в лекции были приведены общие понятия в электросвязи, показана обобщенная структурная схема системы электросвязи, рассмотрены виды сигналов электросвязи, изучена теорема Котельникова, рассмотрены достоинства и недостатки АСП и ЦСП, что позволит в дальнейшем более осознанно подходить к изучению телекоммуникационных систем передачи.

Вопросы контроля знаний:

1. Что такое цифровой сигнал?
2. С какой частотой следует дискретизировать аналоговый сигнал?
3. Как определить ошибку квантования сигнала?
4. В чем заключается принцип двоичного кодирования сигнала?
5. Как восстановить аналоговый сигнал из цифрового?
6. Дискретизация, определения, виды, графики.
7. Квантование, определение, виды, графики.
8. Все о теореме Котельникова – сущность, график, математическое выражение.

9. Сигнал, дискретный по уровню - определение, график, математическое выражение.
10. Сигнал, дискретный по времени - определение, график, математическое выражение.
11. Цифровой сигнал - определение, график, математическое выражение.
12. Достоинства и недостатки цифровых методов передачи.
13. Достоинства и недостатки аналоговых методов передачи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Крук Б.И., Попов Г.Н. ... И мир загадочный за занавесом цифр: Цифровая связь. – 2-е изд., испр. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2001. – 264 с.
2. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.И. Основы теории цепей: Учебник для вузов; Под ред. В.П. Бакалова. – М.: Радио и связь, 2000. – 592с.
3. Гордиенко В. Н. Многоканальные телекоммуникационные системы [Электронный ресурс]: учебник для вузов / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. - М.: Горячая линия–Телеком, 2013. 396с.
4. ГОСТ 53801-2010 Связь федеральная. Термины и определения.
5. Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи: Учебное пособие для ВУЗов /Под ред. А.Д.Моченова. –М.: Горячая линия – Телеком, 2007. с.7-73, 177-188. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В. Финк Л.М. Теория передачи сигналов: Учебник пособие для ВУЗов. — М.: Связь, 1980. — 288 с.

ЛЕКЦИЯ № 6

Тема № 3 «ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ»

Занятие № 1 «Обобщенная структура системы электросвязи специального назначения»

Учебные вопросы:

1 ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

2 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

3 ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

4 ПРИНЦИПЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

1 ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

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

Обобщенная структурная схема систем электросвязи показана на рисунок 1.

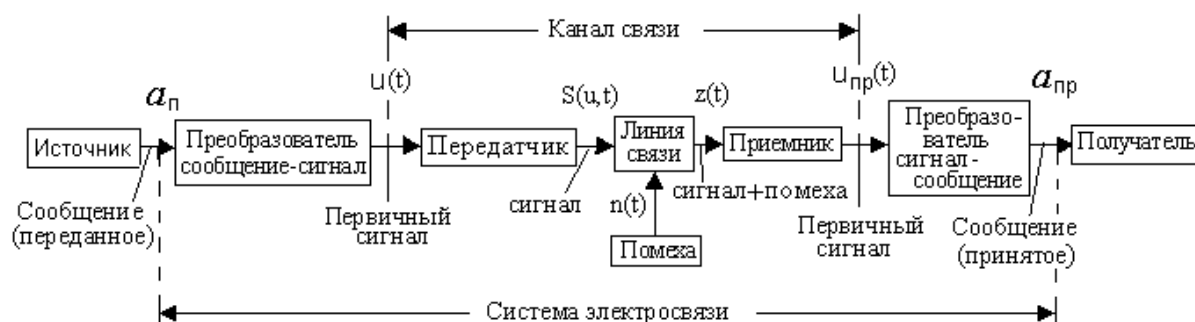


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема системы электросвязи

Сообщение с выхода источника сообщения при помощи преобразователя сообщение - сигнал преобразуется в *первичный* электрический сигнал, которые не всегда удобно (а иногда невозможно) непосредственно передавать по линии связи. Поэтому первичные сигналы при помощи передатчика преобразуются в так называемые *вторичные* сигналы, характеристики которых хорошо согласуются с характеристиками линии связи. С вызова линии связи сигналы поступают на вход приемника и через преобразователь сигнала передается получателю сообщения.

Канал передачи (канал связи) – комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу сигнала электросвязи в полосе частот или со скоростью передачи, характерных для данного канала передачи, между сетевыми станциями, сетевыми узлами или между сетевой станцией и сетевым узлом, а также между сетевой станцией или сетевым узлом и конечным устройством первичной сети.

В зависимости от среды распространения электрические сигналы бывают (рисунок – Классификация электрических сигналов):

- электрическими,
- оптическими,
- акустическими,
- электромагнитными и др.

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

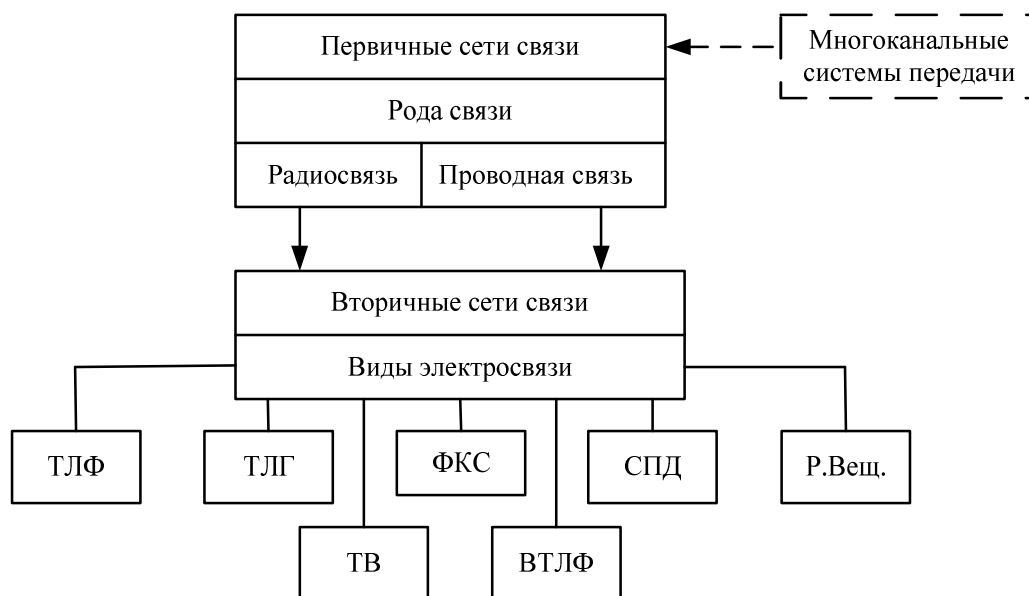
2 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

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

Сеть связи состоит из *первичной* и *вторичных* сетей.

Первичная сеть (рисунок 2) (ПСС) – совокупность типовых физических цепей, типовых каналов, трактов, образованных на базе узлов связи (УС), оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи. ПС бывает магистральная, внутрizonовые и местные.

Вторичные сети различаются по виду передаваемых сигналов электросвязи: ТЛФ, ТЛГ, ФКС, ПД, РВ, ТВ, ВТЛФ и др.



Принципы построения сети связи

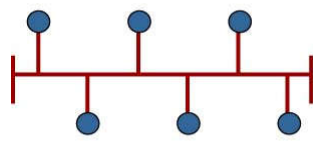
Рисунок 2 – Виды сетей связи.

Существуют следующие принципы построения (топологии) сетей:

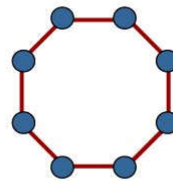
- «каждый с каждым» (рис.1.7); сеть надежна, отличается оперативностью и высоким качеством передачи сообщений, на практике применяется при небольшом числе абонентов;
- *радиальная* («звезда») (рис.1.8): используется при ограниченном числе абонентских пунктов, расположенных на небольшой территории;
- *радиально-узловой* (рис.1.9): такую структуру имеют городские телефонные сети, если емкость сети не превышает 80...90 тыс. абонентов;
- *радиально-узловой с узловыми районами* (рис.1.10). Используется при построении телефонных сетей крупных городов.

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

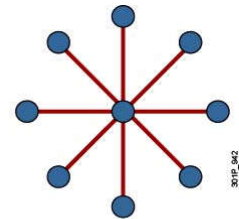
Процесс поиска и соединения электрических цепей называется *коммутацией каналов*. Сеть, обеспечивающая коммутацию каналов, называется *сетью с коммутацией каналов (СКК)*. Узловые станции сети СКК называются *станциями коммутации*.



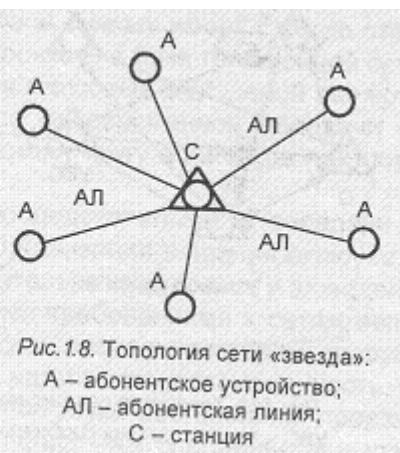
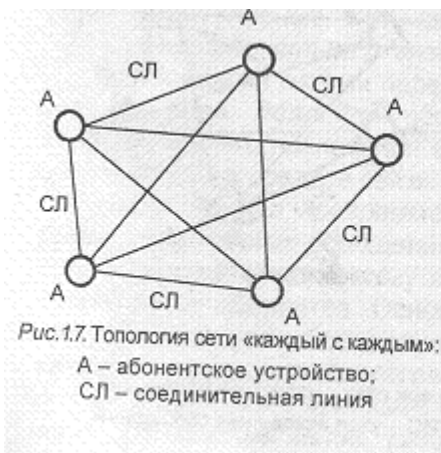
Топология шины

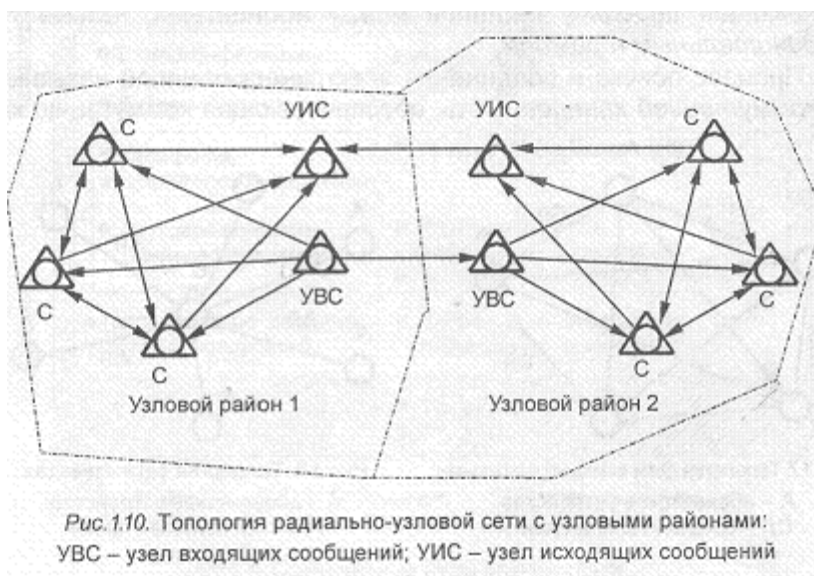
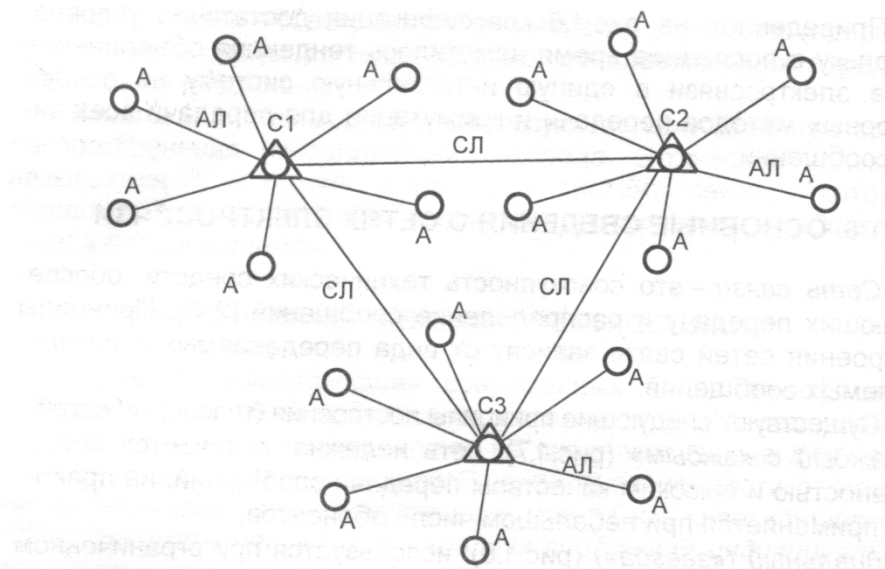


Топология кольца



Топология звезды





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

Разновидностью СКС является *сеть с коммутацией пакетов* (СКП). В этом случае полученное от передающего абонента сообщение разбивается на блоки (*пакеты*) фиксированной длины. Пакеты передаются по сети

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

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

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

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

Важнейшими сетями передачи массовых сообщений являются сети вещания. *Вещание* - процесс одновременной передачи сообщений общего назначения широкому кругу абонентов при помощи технических средств связи.

Вещательная программа - последовательность передачи во времени различных сообщений. Организация вещания включает в себя две задачи: подготовку вещательных программ и доведение программ до абонентов. Основными требованиями к сетям вещания являются: охват вещанием

всего населения страны, высокое качество передаваемых программ, надежность и экономичность.

Распределение программ в сети *звукового вещания* производится по каналам связи, разветвление - на специальных узлах.

Сеть каналов звукового вещания строится по радиально-узловому принципу. По способу доведения различают *радиовещание* и *проводное вещание* (по специальным проводным линиям или линиям телефонной связи).

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

Используется два способа доведения ТВ программ: *радиовещание* с помощью радиотелевизионных передающих станций (РТПС) (эфирное ТВ) и *проводное вещание* (кабельное ТВ). Современной разновидностью эфирного ТВ является спутниковое телевизионное вещание с непосредственным приемом на установки, расположенные у абонентов. Закономерность распространения радиоволн метрового и дециметрового диапазона, которая будет рассмотрена ниже, ограничивает зону уверенного приема сигналов РТПС пределами оптической (прямой) видимости. Для увеличения зоны уверенного приема необходимо поднимать передающую и приемную антенны. Для типовых РТПС с опорами для антенн высотой 200...350 м радиус зоны обслуживания составляет 60...100 км. Останкинская телебашня при высоте 536 м обеспечивает радиус зоны обслуживания 120...130 км.

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

предъявляемые полиграфистами. Рассматривается возможность модернизации сети, а также использование других сетей (*Internet* и т.п.) для передачи газет.

Электросвязь на большие расстояния имеет свои принципы построения, к основным из них относятся:

- комплексное использование сетей различных родов связи;
- создание типовых стандартных каналов передачи и групповых трактов, обеспечивающие передачу по ним всех видов информационных сигналов.

В настоящее время в РФ существует комплекс технологически сопряженных сетей электросвязи на территории РФ – Взаимоувязанная сеть связи (ЕСЭ) (вместо ЕАСС в СССР).

Единая сеть электросвязи России (ЕСЭ) [3]. ЕСЭ - это совокупность технически сопряженных сетей электросвязи общего пользования, ведомственных и других сетей электросвязи на территории России независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности, обеспеченная общим централизованным управлением. Основными требованиями к ВСС являются надежность и экономичность.

Определенные технические средства ЕСЭ участвуют в процессе передачи независимо от вида передаваемых сообщений. Совокупность этих элементов образует *первичную сеть* (ПС) ЕСЭ (рис.1.11). В состав ПС входят сетевые узлы, сетевые станции и линии передачи.

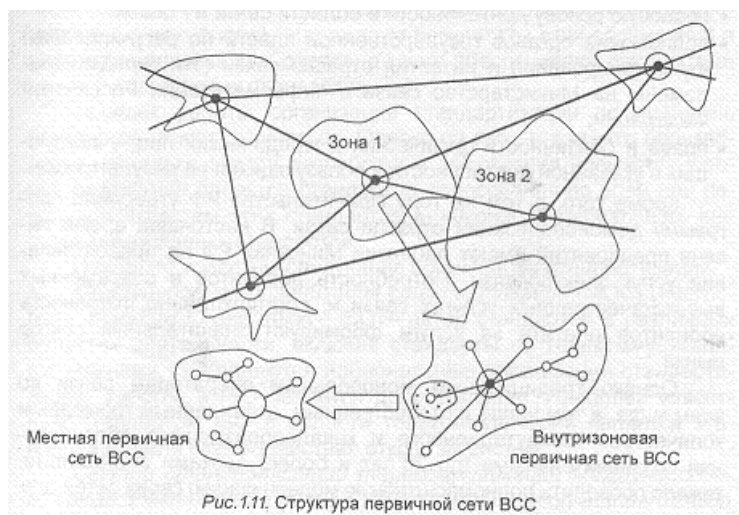


Рис. 1.11. Структура первичной сети ВСС

Структура ПС учитывает административное деление страны. Территория страны поделена на *зоны*. Признак зоны - единая семизначная нумерация.

Как правило, зоны совпадают с территориями областей. В соответствии с этим делением ПС состоит из отдельных частей:

- *местные* ПС (МСП) ограничены территорией города или сельского района;

- *внутрозоновые* ПС (ВЗПС) охватывают территорию зоны и обеспечивают соединение местных сетей внутри зоны;

- *магистральная* ПС (СМП) соединяет зоновые сети. Каждая сеть связи, входящая в ЕСЭ, помимо технических средств первичной сети, использует устройства, присущие этой сети. Вторичная сеть (ВС) ЕСЭ - совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сообщений *определенного вида*. В состав ВС входят: оконечные абонентские устройства, абонентские линии (АЛ), коммутационные устройства и каналы, выделенные из ПС для организации данной ВС.

В целях обеспечения обороноспособности и как часть ЕСЭ существует сеть связи общего пользования (ССОП) в интересах Минобороны, а также в интересах МВД, ФАПСИ, ГРУ, ФСБ, и др. силовых ведомств. Т.е. в ВС РФ имеется система связи (СС) ВС РФ, составной частью ее является территориальная сеть связи (ТСС).

3 ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Основным средством, обеспечивающим надежное управление войсками и оружием в различных условиях обстановки, является электрическая связь на большие расстояния, так называемая *“дальняя связь”*, которая организуется на основе принципов комплексного использования сетей различных родов связи и создания типовых стандартных каналов передачи и групповых трактов, обеспечивающие передачу по ним всех видов информационных сигналов.

Линией передачи называют элемент сети связи, соединяющий УС, ПУ и представляющий собой совокупность *среды распространения* (СР) электрических сигналов, а также ряд вспомогательных технических средств и сооружений, обеспечивающих эксплуатацию линии передачи.

Канал передачи – комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу сигнала электросвязи между узлами (м.б. аналоговый, цифровой, смешанный).

Линия передачи – совокупность линейных трактов систем передачи и типовых физических цепей, имеющих общие линейные сооружения, устройства их обслуживания и одну и ту же среду распространения (м.б. магистральная, внутрizonовая, местная; кабельная, радиорелейная, спутниковая, комбинированная).

Канал (тракт) передачи образует система передачи, которая в техническом плане представляет собой и соответствующую аппаратуру преобразования сигнала (АПС), и линию передачи (рисунок 3, 4).

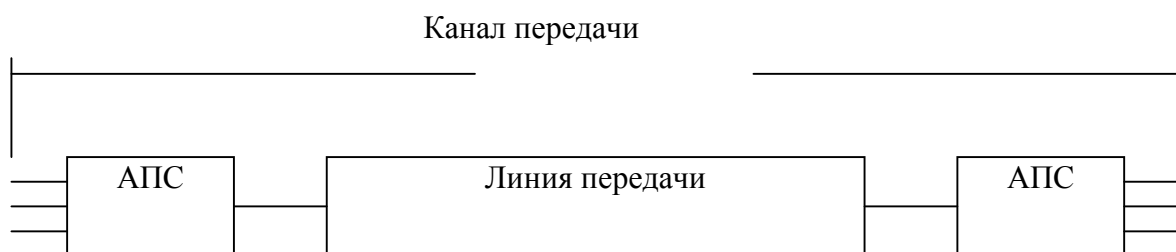


Рисунок 3 - Канал передачи



Рисунок 4 - Тракт передачи информации

В системе электросвязи *тракт передачи информации* от источника (ИИ) к потребителю информации (ПИ) в общем случае состоит из окончательных

средств связи (ОСС), специальных (ССС), коммутационных (КСС) и канала передачи (рисунок 4).

В качестве СР могут использоваться *направляющие системы* (токопроводящие металлические провода, оптические волокна) и открытое пространство. Соответственно каналы и системы электросвязи, использующие в качестве среды провода и волокна, называются проводными, а каналы и системы, в которых сигналы передаются через открытое пространство - радиоканалами и радиосистемами.

Создание типовых каналов и трактов передачи ПСС, образуемых в проводных, радио, радиорелейных, тропосферных и спутниковых линиях связи, непосредственно обеспечивают многоканальные системы передачи, т.е., МСП, таким образом, являются технической базой ЕСЭ.

Исторически первыми были созданы линии и средства проводной связи, которые быстро получили широкое распространение. При этом сразу встала *проблема* эффективного использования проводных линий передачи за счет передачи по одной линии одновременно большого числа сообщений между различными абонентами. Такой системой стали ***многоканальные системы передачи*** (МСП). В состав технических средств МСП входит каналообразующая аппаратура (КОА) и аппаратура согласования КОА со средой распространения.

В дальнейшем с появлением РРЛ, тропосферных и спутниковых линий связи МСП стали применяться и на этих линиях.

Важно подчеркнуть, что КОА проводных, РРЛ, ТРЛ и спутниковых линий передачи одинакова с одинаковыми параметрами каналов и трактов передачи. Помимо удешевления производства и упрощения эксплуатации средств связи этим решается вопрос сопряжения между собой каналов передачи, образованных на разных типах линий передачи.

Таким образом линии связи (передачи) играют важную роль в структуре системы связи, в значительной степени от них зависит наличие и

качество связи. Поэтому мы и приступаем к изучению дисциплины «Линии связи».

4 ПРИНЦИПЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

В многоканальных системах передачи (МСП) используются методы частотного разделения каналов и временного (ЧРК, ВРК).

На рисунке 5 приведена обобщённая структурная схема системы многоканальной связи.

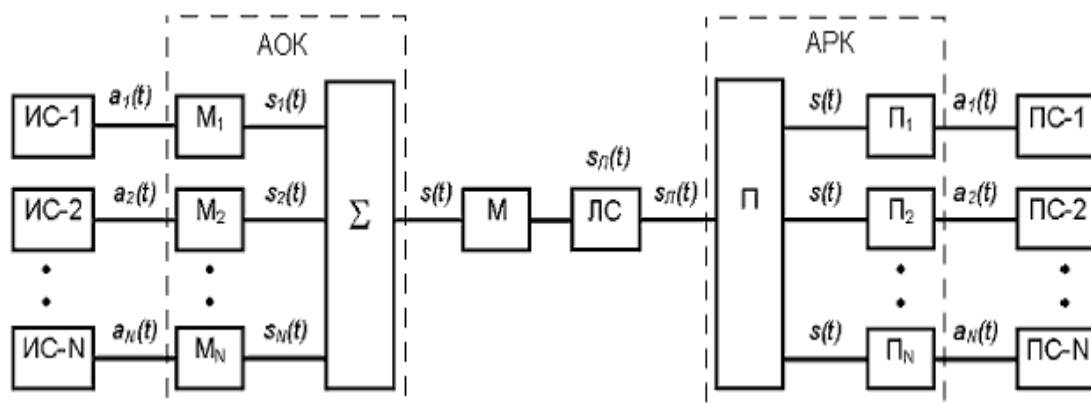


Рисунок 5 - Обобщённая структурная схема системы многоканальной связи

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

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

Реализация сообщений каждого источника $a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)$ с помощью индивидуальных передатчиков (модуляторов) M_1, M_2, \dots, M_N преобразуются в соответствующие канальные сигналы $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$. Совокупность

канальных сигналов на выходе аппаратуры объединения каналов (АОК) образует групповой сигнал $s(t)$. Наконец, в групповой передатчике M сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_{Л}(t)$, который и поступает в линию связи ЛС. Допустим, что линия пропускает сигнал практически без искажений и не вносит шумов. Тогда на приемном конце линии связи линейный сигнал $s_{Л}(t)$ с помощью аппаратуры разделения каналов (АРК) может быть вновь преобразован в групповой сигнал $s(t)$. Канальными или индивидуальными приемниками $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$ из группового сигнала $s(t)$ выделяются соответствующие каналные сигналы $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$ и затем преобразуются в предназначенные получателям сообщения $a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)$.

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

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

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

форма сигналов. Соответственно различаются и способы разделения сигналов: частотный, временной, фазовый и другие.

4.1 Частотное разделение каналов

Функциональная схема простейшей системы многоканальной связи с разделением каналов по частоте представлена на рисунке 6.

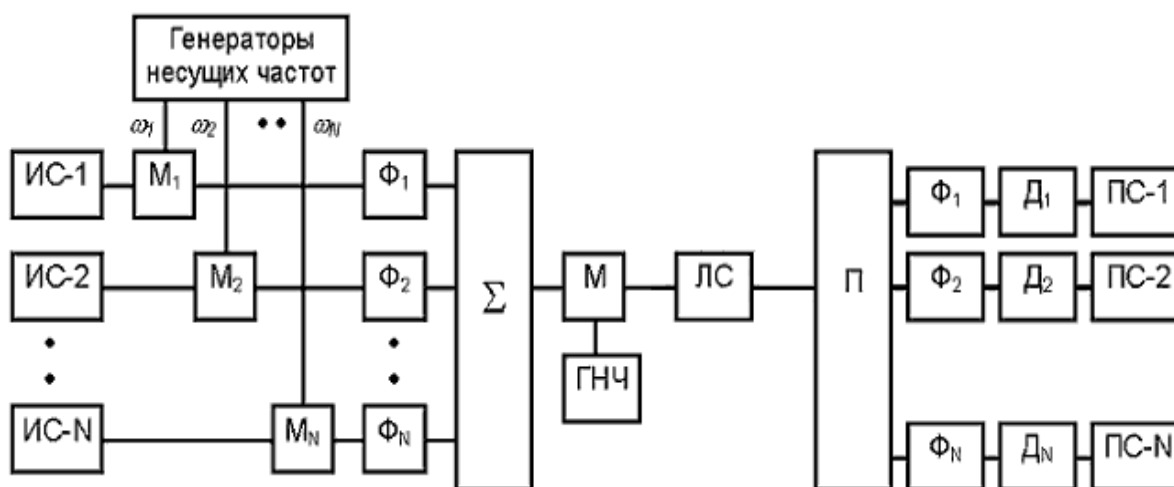


Рисунок 6 - Функциональная схема многоканальной системы с ЧРК

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

Сначала в соответствии с передаваемыми сообщениями первичные (индивидуальные) сигналы, имеющие энергетические спектры $G_1(\omega)$, $G_2(\omega)$, ..., $G_N(\omega)$ модулируют поднесущие частоты ω_k каждого канала соответственно. Эту операцию выполняют модуляторы M_1, M_2, \dots, M_N канальных передатчиков.

Модуляторы – это четырёхполюсники с нелинейной амплитудной характеристикой, которая в общем случае аппроксимируется полиномом n-ой степени.

$$U_{\text{ВЫХ}} = a_1 U_{\text{ВХ}} + a_2 U_{\text{ВХ}}^2 + \dots + a_n U_{\text{ВХ}}^n, \quad (4.1)$$

где a_1, \dots, a_n – коэффициенты аппроксимации

Для простоты возьмём полином 2-й степени, то есть:

$$U_{\text{ВЫХ}} = a_1 U_{\text{ВХ}} + a_2 U_{\text{ВХ}}^2, \quad (4.2)$$

Поддадим на такой четырёхполюсник сигналы двух частот, то есть

$$U_{\text{ВХ}} = U_{m_1} \cos \omega t + U_{m_2} \cos \Omega t, \quad (4.3)$$

где $\omega > \Omega$. Тогда

$$\begin{aligned} U_{\text{ВЫХ}}(t) &= a_1 (U_{m_1} \cos \omega t + U_{m_2} \cos \Omega t) + a_2 (U_{m_1} \cos \omega t + U_{m_2} \cos \Omega t)^2 = \\ &= a_1 U_{m_1} \cos \omega t + a_1 U_{m_2} \cos \Omega t + a_2 U_{m_1}^2 \cos^2 \omega t + a_2 U_{m_2}^2 \cos^2 \Omega t + \\ &+ 2a_2 U_{m_1} U_{m_2} \cos \omega t \cos \Omega t \end{aligned}$$

(4.4)

После соответствующих преобразований получим:

$$\begin{aligned} U_{\text{ВЫХ}}(t) &= \frac{a_2}{2} (U_{m_1}^2 + U_{m_2}^2) + a_1 U_{m_1} \cos \omega t + a_1 U_{m_2} \cos \Omega t + \\ &+ \frac{a_2 U_{m_2}^2}{2} \cos 2\omega t + \frac{a_2 U_{m_1}^2}{2} \cos 2\Omega t + a_2 U_{m_1} U_{m_2} \cos (\omega + \Omega)t + \\ &+ a_2 U_{m_1} U_{m_2} \cos (\omega - \Omega)t \end{aligned}, \quad (4.5)$$

Спектр сигнала на выходе четырёхполюсника будет иметь вид (рисунок 7):

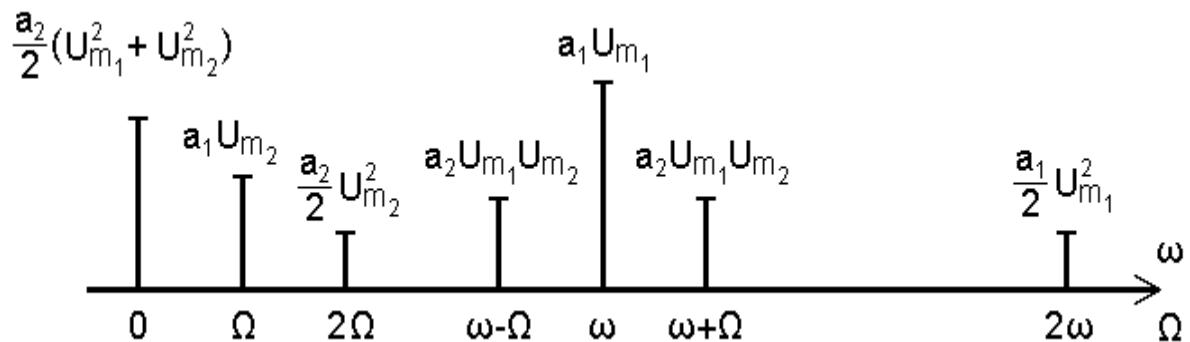


Рисунок 7 - Спектр сигнала на выходе четырёхполюсника

Таким образом, на выходе четырёхполюсника наряду с частотами входных сигналов (ω, Ω) появились: постоянная составляющая

$\left(\frac{a_2}{2} U_{1m}^2 + \frac{a_2}{2} U_{2m}^2 \right)$; вторые гармоники входных сигналов ($2\omega, 2\Omega$); составляющие суммарной ($\omega + \Omega$) и разностной ($\omega - \Omega$) частот.

Если предположить, что в сигнале с частотой Ω содержится информация, то она будет иметь место и в сигналах с частотами ($\omega_H + \Omega$) и ($\omega_H - \Omega$), которые расположены зеркально по отношению к ω и называются верхней ($\omega + \Omega$) и нижней ($\omega - \Omega$) токовыми частотами.

Если на четырёхполюсник подать сигнал несущей частоты $U_1(t) = U_m \cdot \cos \omega_H t$ и сигнал тональной частоты в полосе $\Omega_H \dots \Omega_B$ (где $\Omega_H = 0.3$ кГц, $\Omega_B = 3.4$ кГц), то спектр сигнала на выходе четырёхполюсника будет иметь вид (рисунок 8)

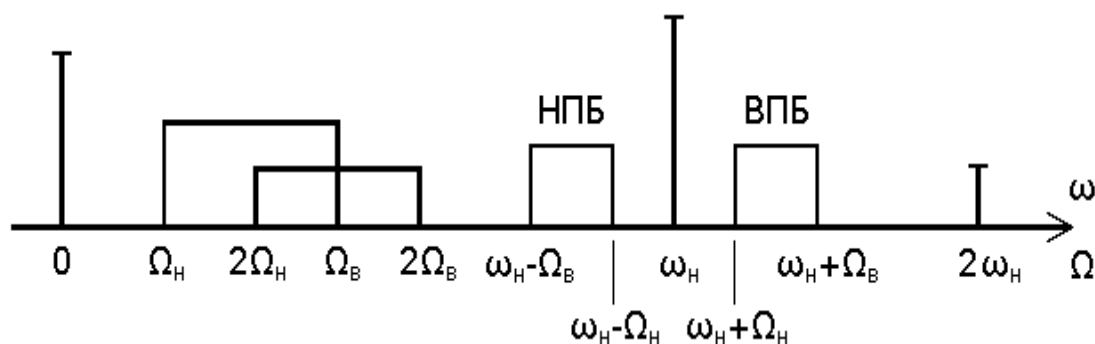


Рисунок 8 - . Спектр сигнала на выходе четырехполюсника

Полезными продуктами преобразования (модуляции) являются верхняя и нижняя боковые полосы. Для восстановления сигнала на приёме на вход демодулятора достаточно подать несущую частоту (ω_H) и одну из боковых полос.

В многоканальных системах передачи с частотным разделением каналов (МСП-ЧРК) по каналу передаётся только сигнал одной боковой полосы, а несущая частота берётся от местного генератора. Таким образом, на выходе каждого канального модулятора включается полосовой фильтр с полосой пропускания $\Delta\omega = \Omega_B - \Omega_H = 3.1$ кГц. Спектры $G_1(\omega)$, $G_2(\omega) \dots G_N(\omega)$ после транспонирования (переноса) на различные частотные интервалы и инвертирования (эта операция в принципе необязательна, но обычно

выполняется для упрощения оборудования) складываются и образуют групповой спектр $G_{гр}(\omega)$.

С целью уменьшения влияния соседних каналов (уменьшения переходных помех) обусловленного неидеальностью АЧХ фильтров, между спектрами сигнальных сообщений вводятся **защитные интервалы**. Для каналов ТЧ они равны 0.9 кГц. Таким образом, ширина полосы канала ТЧ с учётом защитного интервала равна 4 кГц (рисунок 9)

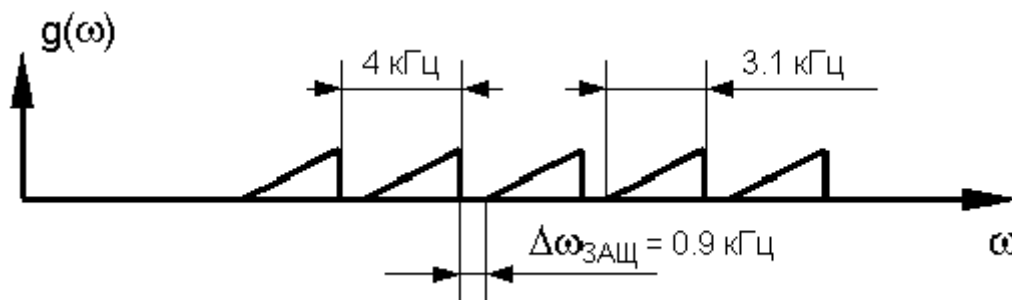


Рисунок 9 - Спектр группового сигнала с защитными интервалами

В системах ЧРК с числом каналов 12 и более реализуется принцип многократного преобразования частоты [6]. В основу построения многоканальной системы положен стандартный канал тональной (ТЧ). В соответствии с рекомендациями МККТТ оконечное оборудование (включающее АОК и АРК) строится с таким расчётом, чтобы на каждом этапе преобразования частоты с помощью унифицированных блоков формировались всё более и более укрупнённые группы каналов ТЧ. Причём в любой группе число каналов кратно 12.

Вначале каждый из каналов ТЧ "привязывается" к той или иной 12-канальной группе, называемой первичной группой (ПГ). Разнесение сигналов 12 различных телефонных сообщений по спектру (формирование ПГ) осуществляется с помощью индивидуального преобразования частоты в стандартном 12-канальном блоке. Эти блоки обеспечивают как прямую, так и обратную связь в каждом из 12 дуплексных каналов (рисунок 10, а).

Каждый канал содержит следующие индивидуальные устройства: на передаче ограничитель амплитуд ОА, модулятор М и полосовой фильтр ПФ;

на приёме полосовой фильтр ПФ, демодулятор ДМ, фильтр нижних частот ФНЧ и усилитель низкой частоты УНЧ.

Для преобразования исходного сигнала на модуляторы и демодуляторы каждого канала подаются несущие частоты, кратные 4 кГц.

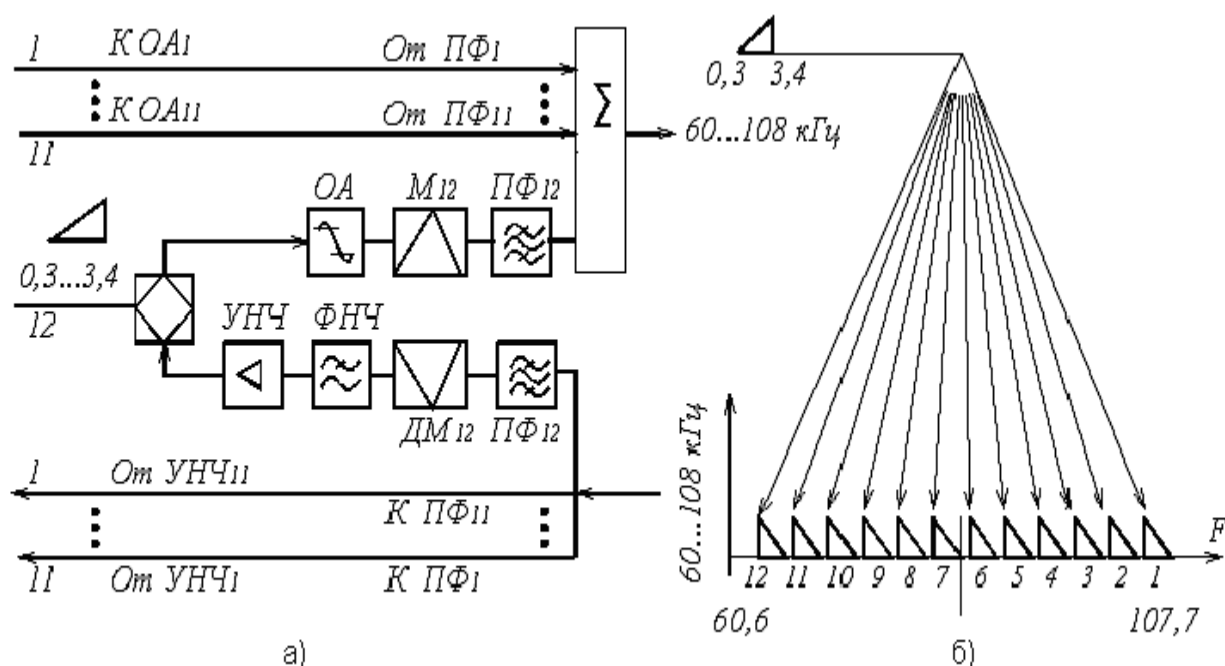


Рисунок 10. Структурная схема блока индивидуального преобразования (а) и схема формирования первичной группы (б)

Спектр группового сигнала ПГ представлен на рисунке 10, б.

В приведённом варианте формирования ПГ использован принцип однократного преобразования спектра канала ТЧ.

Поскольку индивидуальное оборудование во всех 12 каналах однотипно, на данном рисунке приведены лишь устройства, относящиеся к одному каналу (первому). Как отмечалось ранее, при организации телефонной связи можно использовать либо двухполосную двухпроводную, либо однополосную четырёхпроводную систему передачи. Схема, изображённая на рисунке 10, относится ко второму варианту. Здесь каждый канал имеет отдельные тракт передачи и тракт приёма (действующие в одной и той же полосе частот), то есть каждый канал является четырёхпроводным. Если канал используется для телефонной связи, то двухпроводный участок цепи от

абонента соединяется с четырёхпроводным каналом через дифференциальную систему (ДС). В случае передачи других сигналов (телеграфных, данных, звукового вещания и тому подобное), для которых необходим один или несколько односторонних каналов, ДС отключается [5].

В режиме передачи сообщение от абонента (Аб) через ДС и амплитудный ограничитель (ОА) поступает на один из входов индивидуального преобразователя частоты (модулятор M_{11}). На другой вход M_{11} подаётся сигнал поднесущей с частотой F_{12} . В результате перемножения этих сигналов образуется сигнал, спектр которого состоит из двух боковых (относительно F_{12}) полос. Сигнал нижней из этих полос выделяется фильтром $ПФ_{12}$ и подаётся на один из входов сумматора. На другие входы сумматора поступают сигналы с выхода аналогичных трактов передачи 11 других каналов.

Амплитудные ограничители предотвращают перегрузку групповых усилителей (а, следовательно, уменьшают вероятность возникновения нелинейных помех) в моменты появления пиковых значений напряжений нескольких речевых сигналов.

В режиме приёма каналный сигнал выделяется с помощью полосового фильтра $ПФ_{12}$ из спектра первичной группы (с полосой 60 ... 108 кГц) и подаётся на индивидуальный преобразователь $ДМ_{12}$. На другой вход $ДМ_{12}$ поступает тот же сигнал поднесущей частоты F_{12} , который питает и M_{11} . Спектр выходного сигнала $ДМ_{12}$ состоит из двух боковых (относительно F_{12}) полос. Сигнал нижней из этих полос выделяется ФНЧ, усиливается и через ДС поступает к абоненту. Приёмные тракты 11 других каналов построены аналогично. В аппаратуре с числом каналов 60 и более индивидуальное оборудование размещается в специальных стойках индивидуальных преобразователей СИП-60 или СИП-300 [5].

4.2 Временное разделение каналов

Формирование сигнала линейного тракта систем передачи при ВРК и аналоговых методах передачи. При ВРК на передающей стороне непрерывные сигналы от абонентов передаются поочерёдно (рисунок 11)

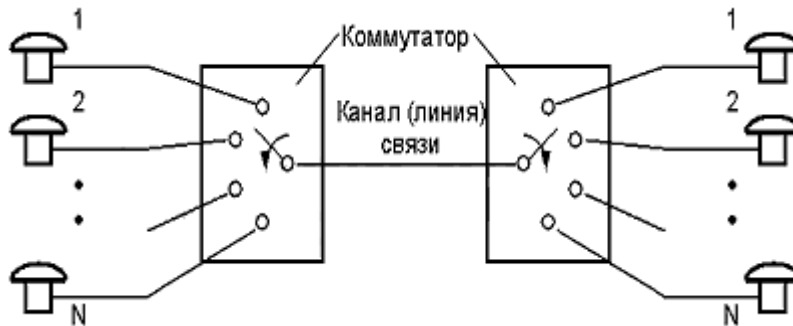


Рисунок 11 - Принцип временного разделения каналов

Для этого эти сигналы преобразуются в ряд дискретных значений, периодически повторяющихся через определённые интервалы времени T_d , которые называются периодом дискретизации (смотри рисунок 12). Согласно теореме В.А. Котельникова период дискретизации непрерывного, ограниченного по спектру сигнала с верхней частотой $F_v \gg F_n$ должен быть равен

$$T_d = 1/F_d, F_d \geq 2F_v, (4.8)$$

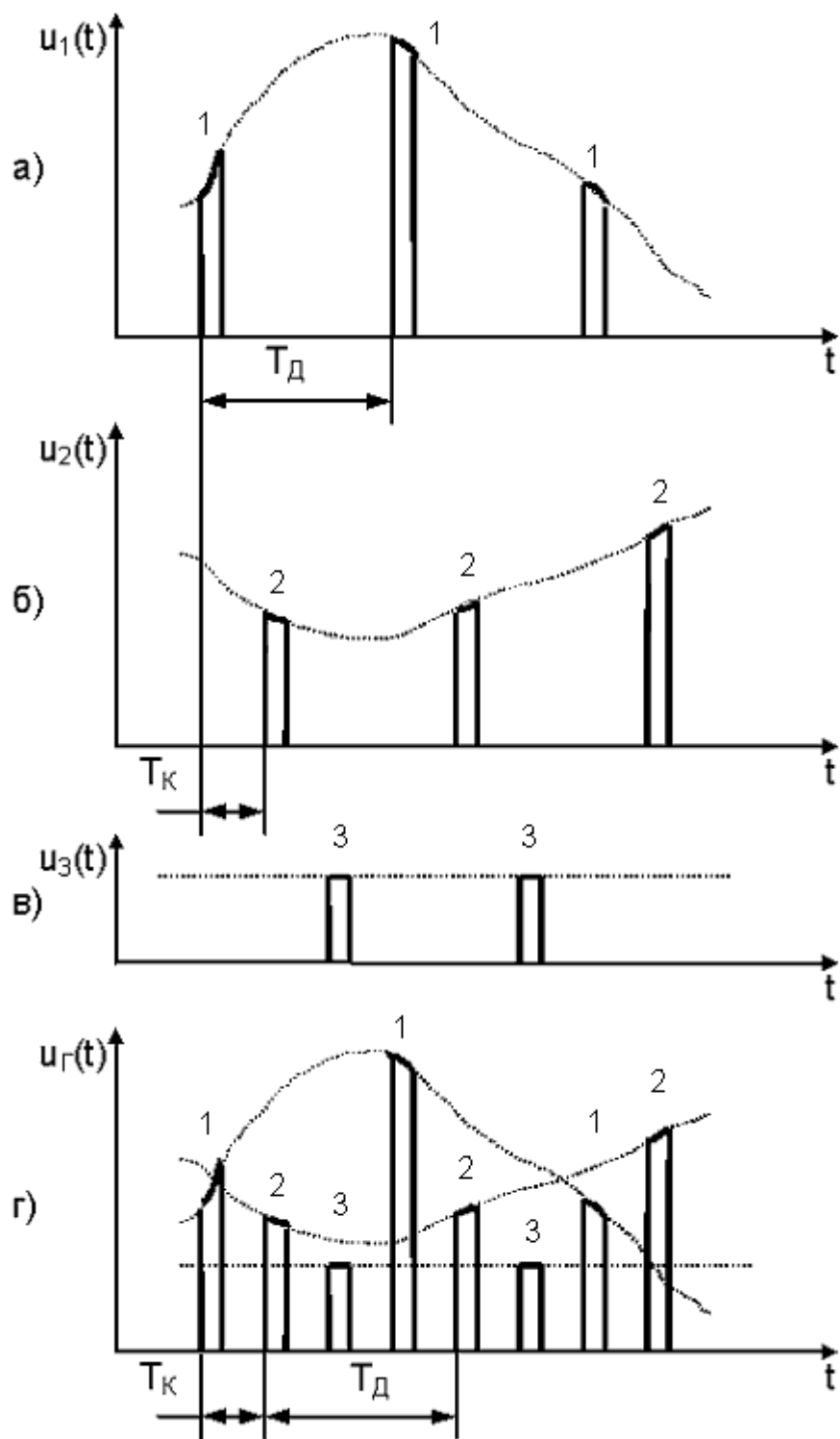


Рисунок 12 - . Преобразование сигналов при ВРК

Интервал времени между ближайшими импульсами группового сигнала T_k называется канальным интервалом или тайм-слотом (Time Slot).

Из принципа временного объединения сигналов следует, что передача в таких системах осуществляется циклами, то есть периодически в виде групп из $N_{гр} = N + n$ импульсов, где N – количество информационных сигналов, n –

количество служебных сигналов (импульсов синхронизации – ИС, служебной связи, управления и вызовов). Тогда величина канального интервала $\Delta t_k = T_d / N_{гр}$.

Таким образом, при ВРК сообщения от N абонентов и дополнительных устройств передаются по общему каналу связи в виде последовательности импульсов, длительность каждого из которых $\tau_{и} < \Delta t_k$ (смотри рисунок 12 и 13) [1].

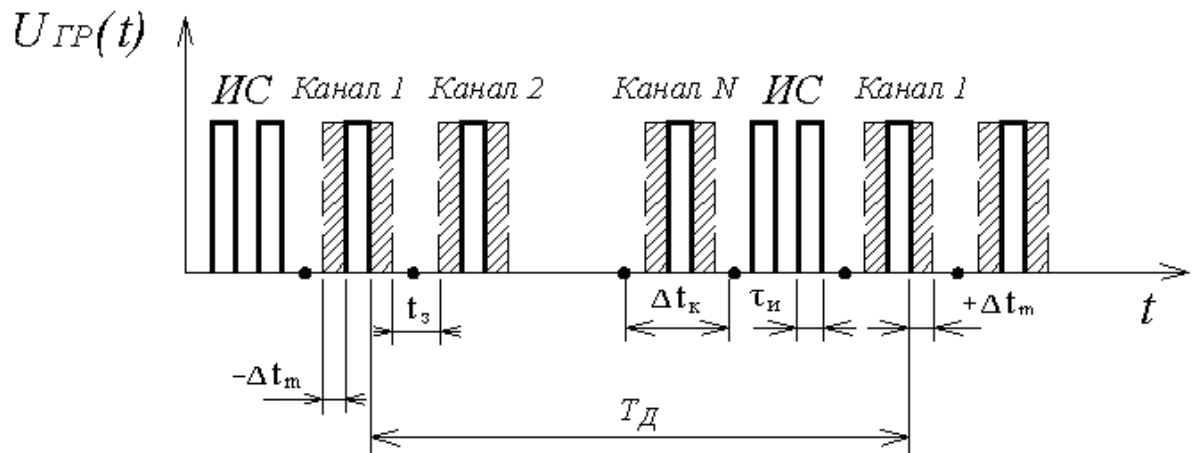


Рисунок 13 Групповой сигнал при ВРК с ФИМ

При временном разделении каналов возможны следующие виды импульсной модуляции (рисунок 14): АИМ – амплитудно-импульсная модуляция; ШИМ – широтно-импульсная модуляция; ФИМ – фазоимпульсная модуляция.

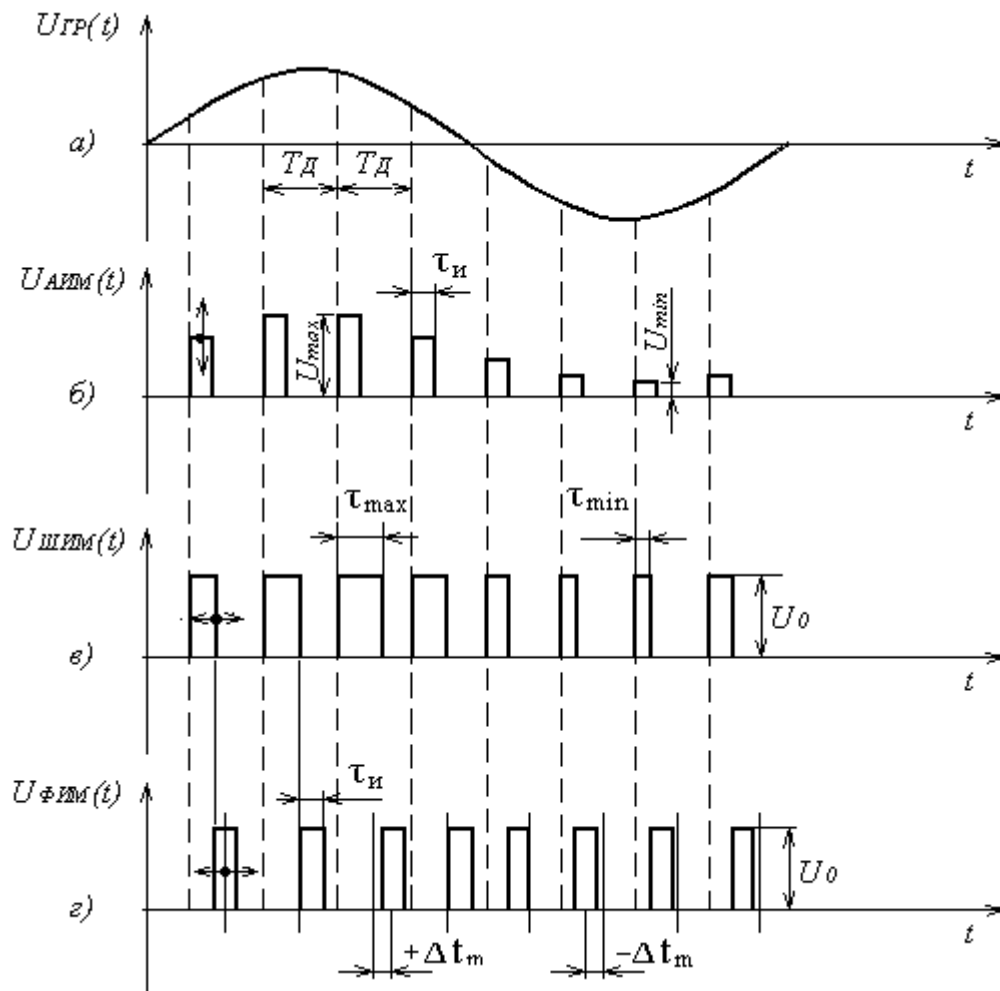


Рисунок 14 - Модуляция канальных импульсов при ВРК: а) непрерывное сообщение; б) АИМ; в) ШИМ; г) ФИМ

Каждый из перечисленных методов импульсной модуляции имеет свои достоинства и недостатки. АИМ – проста в реализации, но плохая помехоустойчивость. Используется как промежуточный вид модуляции при преобразовании аналогового сигнала в цифровой.

При ШИМ спектр сигнала меняется в зависимости от длительности импульса. Минимальному уровню сигнала соответствует минимальная длительность импульса и, соответственно, максимальный спектр сигнала. При ограниченной полосе канала такие импульсы сильно искажаются.

В аппаратуре с ВРК и аналоговыми методами модуляции наибольшее применение получила ФИМ, так как при её использовании можно уменьшить мешающее действие аддитивных шумов и помех путём двухстороннего ограничения импульсов по амплитуде, а также оптимальным образом

согласовать неизменную длительность импульсов с полосой пропускания канала. Поэтому в системах передачи с ВРК используется, в основном, ФИМ.

На рисунке 15 приведена упрощённая структурная схема оконечной станции многоканальной системы с ВРК. Непрерывное сообщение от каждого из абонентов $u_1(t) \dots u_N(t)$ через соответствующие дифференциальные системы $ДС_1 \dots ДС_N$ подаются на входы канальных модуляторов $КМ_1 \dots КМ_N$. В канальных модуляторах в соответствии с передаваемым сообщением производятся модуляции импульсов, следующих через период дискретизации T_d , по одному из параметров, например, ФИМ. В соответствии со значением передаваемого непрерывного сообщения в момент отсчёта при ФИМ происходит изменение положения импульса постоянной амплитуды и длительности относительно середины канального интервала от $+\Delta t_m$ до $-\Delta t_m$ (рисунок 14, г). Промодулированные импульсы с выхода $КМ$, импульсы синхронизации от генератора синхронизации (ГИС), а также импульсы датчика служебной связи (ДСС), датчика сигналов управления и вызовов (ДУВ) объединяются. В результате получается групповой сигнал $u_{гр}(t)$. Для обеспечения работы канальных модуляторов и дополнительных устройств последовательности импульсов с частотой дискретизации F_d , сдвинутые относительно первого канала на $i\Delta t_k$, где i – номер канала. Таким образом, моменты начала работы $КМ$ определяются запускающими импульсами от $РК$, который определяет моменты подключения к общему широкополосному каналу соответствующего абонента или дополнительного устройства.

Полученный групповой сигнал $u_{гр}(t)$ подаётся на вход регенератора ($Р$), который придаёт дискретным сигналам различных каналов одинаковые характеристики, например одинаковую форму импульса. Все устройства, предназначенные для образования сигнала $u_{гр}(t)$: $КМ_1 \dots КМ_N$, $РК$, $ГИС$, $ДУВ$, $ДСС$, $Р$ – входят в аппаратуру объединения сигналов ($АО$), которая осуществляет объединение во времени всех сигналов и формирует групповой

сигнал. Далее сигнал может передаваться на следующую станцию по проводным соединительным линиям или с помощью радиосвязи.

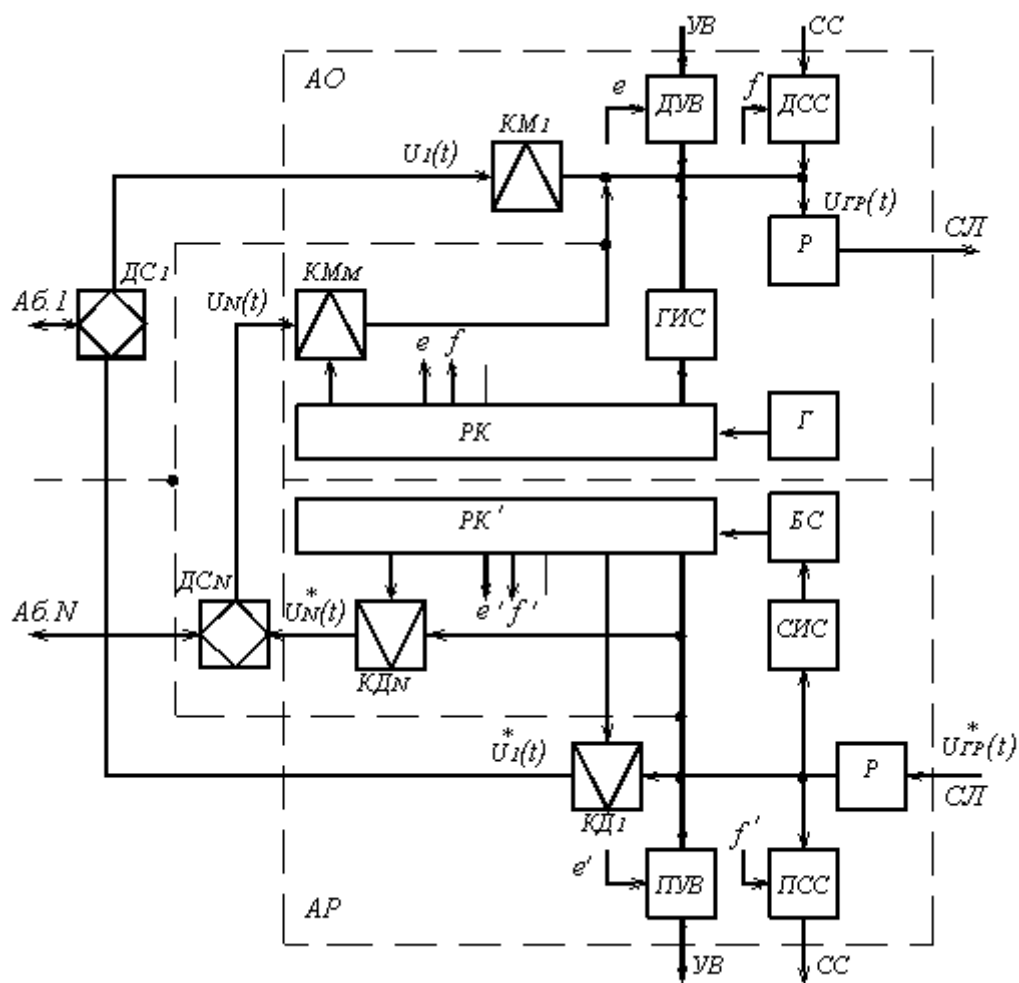


Рисунок 15 - Упрощённая структурная схема оконечной станции системы связи с ВРК

На приёме выделенный сигнал $u_{гр}^*(t)$ подаётся на входы всех канальных демодуляторов $КД_1 \dots КД_N$ и приемников служебной связи (ПСС), управления и вызова (ПУВ).

Канальные демодуляторы осуществляют разделение $u_{гр}^*(t)$ на отдельные канальные сигналы, представляющие собой дискретные отсчёты, и восстановление по этим отсчётам непрерывных сообщений $u_1^*(t) \dots u_N^*(t)$, соответствующих поданным на входы КМ в АО. Для обеспечения временного разделения канальных сигналов необходимо, чтобы каждый из КД открывался поочерёдно только (!) в соответствующие данному каналу

интервалы времени Δt_k . Это обеспечивается импульсами, снимаемыми с выходов РК' аппаратуры разделения сигналов (АР), работающего аналогично РК в АО на передающем конце линии связи. Для обеспечения правильного разделения каналов РК', который находится в АР, должен работать синхронно и синфазно с РК АО, что осуществляется с помощью импульсов синхронизации (ИС), выделяемых соответствующими селекторами (СИС) и блоком синхронизации (БС). Сообщения с выходов КД поступают к соответствующим абонентам через дифференциальные системы.

Помехоустойчивость систем передачи с ВРК во многом определяется точностью и надёжностью работы системы синхронизации и распределителей каналов, установленных в аппаратуре объединения и разделения каналов. Для обеспечения точности работы системы синхронизации импульсы синхронизации (ИС) должны иметь параметры, позволяющие наиболее просто и надёжно выделять их из последовательности импульсов группового сигнала $u_{гр}^*(t)$. Наиболее целесообразным при ФИМ оказалось применение сдвоенных ИС, для передачи которых выделяют один из канальных интервалов Δt_k в каждом периоде дискретизации T_d .

Заключение

Таким образом, в лекции были приведены основные понятия электросвязи телекоммуникационных систем передачи, показана обобщенная структурная схема системы электросвязи, принципы работы систем передач и многоканальных систем передачи с частотным и временным разделением каналов, что позволит в дальнейшем более осознанно подходить к изучению телекоммуникационных систем передачи.

Вопросы контроля знаний:

1. Первичный сигнал электросвязи для АСП

2. Канал передачи (канал связи) – определение, структурная схема.
3. Система передачи, определение. Структурная схема системы передачи АСП и ЦСП.
4. Линейный тракт системы передачи, определение.
5. Многоканальные системы передачи, определение. Состав МСП.
6. Обобщенная структурная схема многоканальной системы передачи.
7. Групповые тракты– определение.
8. Сетевые тракты – определение
9. Аналоговая система передач, системы передачи с ЧРК – определения.
10. Принцип частотного разделения каналов.
11. Структурная схема многоканальной системы передачи с частотным разделением каналов Принцип частотного разделения каналов, график.
12. Цифровая система передач, системы передачи с ВРК – определения.
13. Структурная схема многоканальной системы передачи с ВРК.
14. Принцип формирования группового сигнала в трехканальной МСП с ВРК, графики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Арасланкин И.Ф., Лапшин Б.А., Макаренко А.Я. Многоканальные системы передачи. Сети связи и аналоговые системы передачи. Под ред. А.Я. Макаренко – СПб: ВАС, 2007. 672 с.
2. ГОСТ 53801-2010 Связь федеральная. Термины и определения.
3. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В. Финк Л.М. Теория передачи сигналов: Учебник пособие для ВУЗов. — М.: Связь, 1980. — 288 с.
4. Гордиенко В. Н. Многоканальные телекоммуникационные системы [Электронный ресурс]: учебник для вузов / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. - М.: Горячая линия–Телеком, 2013. 396с.
5. Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи. Обслуживание и эксплуатация оборудования транспортных сетей.

Синхронные мультиплексоры: учебное пособие / В. А. Александров [и др.]: ред. И. Г. Штеренберг. Федеральное агентство связи, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича». - СПб.: СПбГУТ, 2013. 86с.

ЛЕКЦИЯ № 7

Тема № 3 «ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ»

Занятие № 2 «Направляющие системы ВОСП»

Учебные вопросы:

- 1 СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТКРЫТЫХ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ
- 2 КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

1 СТРУКТУРА И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТКРЫТЫХ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

По виду используемой среды распространения и типу аппаратуры, осуществляющей ее использование, принято выделять:

- проводные каналы;
- радиоканалы;
- радиорелейные каналы;
- тропосферные и космические каналы;
- каналы волновой связи;
- оптические каналы и др.

По способам организации двусторонней связи различают:

- двухпроводный однополосный канал,
- двухпроводный двухполосный канал,
- четырехпроводный однополосный канал.

По территориальному признаку каналы электросвязи подразделяются на *международные, междугородные, магистральные, зонавые и местные.*

Однако по объемам и скорости передаваемой информации, надежности

и дальности ее доставки оптические каналы, а именно организованные с помощью использования оптического кабеля, значительно превосходят и опережают другие технологические решения. В качестве среды передачи информации нет никакой альтернативы оптическому волокну (ОВ). Использование одного ОВ позволяет обеспечить суммарную скорость передачи информации до нескольких десятков Тбит/с. Поэтому волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) нашли широкое применение на линиях дальней связи и в сетях большой разветвленности и используются в региональных и городских сетях, а также в местных сетях доступа. Большинство прорабатываемых в настоящее время проектов развития системы связи специального назначения Российской Федерации основано на применении именно волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).

Согласно ГОСТ 26599-85 определено:

Волоконно-оптическая система передачи - система передачи, в которой все виды сигналов передаются по оптическому кабелю.

Основное отличие определений состоит в том, что в гостовском не рассматриваются системы передачи, которые предназначены для образования типовых групповых трактов и каналов первичной сети связи, а также среда распространения оптических сигналов. Выделенные отличия неоправданно сужают действие термина «система передачи», что особенно заметно на примере оптических систем передачи. Поэтому необходимо знать определение **Оптические системы передачи (ОСП)**.

Оптические системы передачи (ОСП) – совокупность технических средств связи, обеспечивающая образование линейного тракта, групповых трактов и каналов, состоящих из станций системы передачи и среды распространения оптических сигналов электросвязи.

Обобщенная структура волоконно-оптической системы передачи представлена на рисунке 1 (лекция 1.3).

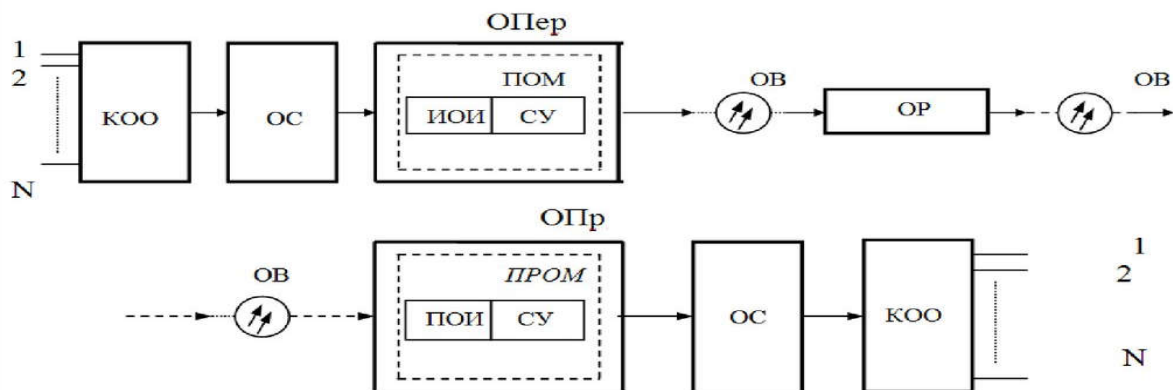


Рисунок 1 – Обобщенная структура ВОСП.

Оптические системы передач (ОСП) по направляющей среде делятся на открытые системы передачи, где сигнал передается в атмосфере, космосе или водной среде, и закрытые - волоконно-оптические системы передачи, то есть использующие оптическое волокно (рисунок 2).



Рисунок 2 - Классификация ОСП по направляющей среде

Открытые ОСП (ООСП) в качестве направляющей среды используют атмосферу (атмосферные ОСП), безвоздушное пространство (космические ОСП), либо водную среду (гидросферные ОСП). Возможно также сочетание различных открытых направляющих систем (комбинированные ОСП).

ВОСП в качестве направляющей среды используют различные типы ОВ. При этом различают многомодовые и одномодовые ВОСП.

Дадим общую характеристику открытым оптическим системам передачи, в которых в качестве направляющей среды используется атмосфера (атмосферным оптическим системам передачи (АОСП)).

На рисунке 3 представлена обобщённая структурная схема АОСП.

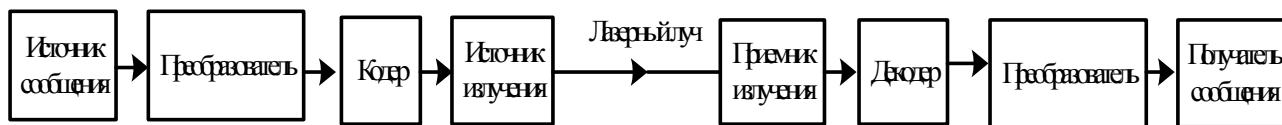


Рисунок 3 - Обобщённая структурная схема атмосферной оптической системы передач

Принцип работы АОСП основан на передаче цифрового сигнала через атмосферу (или космическое пространство) путем модуляции инфракрасного излучения и его последующим детектированием оптическим фотоприёмным устройством (*FSO*-технология). Технология *FSO* (*Free Space Optics*) - это способ беспроводной передачи информации в коротковолновой части электромагнитного спектра.

Таким образом, АОСП между двумя пунктами состоит из двух идентичных станций, устанавливаемых соосно друг напротив друга в пределах прямой видимости - на крышах или стенах домов или на других высоких подставках.

АОСП успешно используются в таких областях применения, как:

- городские мультисервисные высокоскоростные сети;
- распределенные корпоративные сети;
- решение проблемы «последней мили»;
- соединение базовых станций сотовой связи или телефонной сети;
- оперативное резервирование линий связи.

Достоинства ВОСП предопределили их особую перспективность для применения на большинстве линий связи. В настоящее время считается, что

именно создание и внедрение волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) определяют научно-технический прогресс в области связи.

На рисунке 4 представлена обобщённая структурная схема ВОСП.

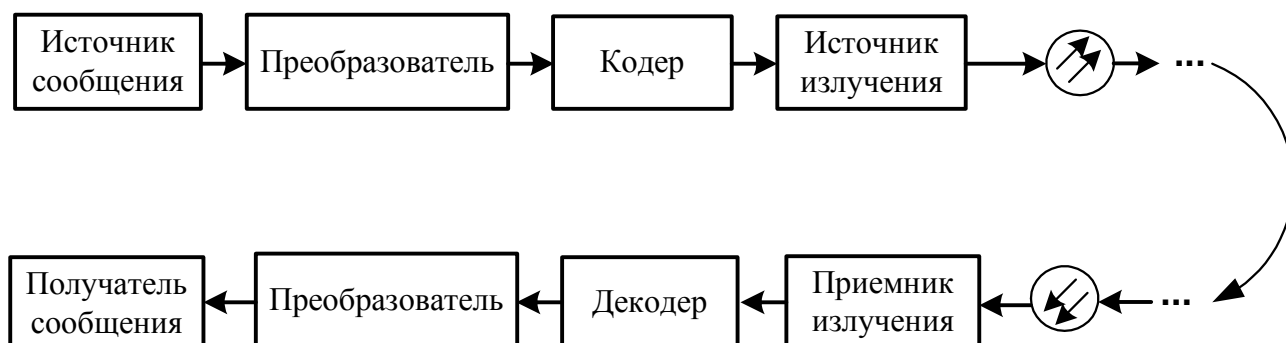


Рисунок 4 - Обобщённая структурная схема ВОСП

В общем случае в ВОСП предусматриваются следующие основные процессы преобразования сигнала:

Сообщение в аналоговой или цифровой форме поступает от источника сообщений на преобразователь, где формируется первичный электрический сигнал. Если передача оптических сигналов реализуется в цифровой форме, используется кодер, в котором осуществляется избыточное кодирование, необходимое для обеспечения требуемой помехоустойчивости, удобств синхронизации приёмных устройств, контроля исправности промежуточных функциональных устройств (регенераторов) и др.

Далее электрический сигнал осуществляет модуляцию оптического излучения, которое обычно генерируется лазером или светоизлучающим диодом. Модулированное оптическое излучение с помощью согласующих устройств вводится в оптическое волокно оптического кабеля (ОК).

Особенности применения волоконно-оптических систем передачи прежде всего определяются существенными достоинствами, которыми обладают оптические кабели:

Достоинства ОК: большую информационную емкость, низкое затухание сигнала, нечувствительны к внешним электромагнитным помехам и др.

К недостаткам ОК можно отнести: дорогой ремонт ОК, высоконадежные дорогостоящие активные элементы, преобразующие электрические сигналы в свет и свет в электрические сигналы и др.

2 КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Согласно ГОСТ 26599 – 85. «Компоненты ВОСП. Термины и определения»:

Оптический кабель - кабельное изделие, содержащее одно или несколько оптических волокон, объединенных в единую конструкцию, которая обеспечивает их работоспособность в заданных условиях эксплуатации (лекция 1.3).

По своему назначению волоконно-оптические кабели условно могут быть классифицированы на следующие группы (рисунок 5):

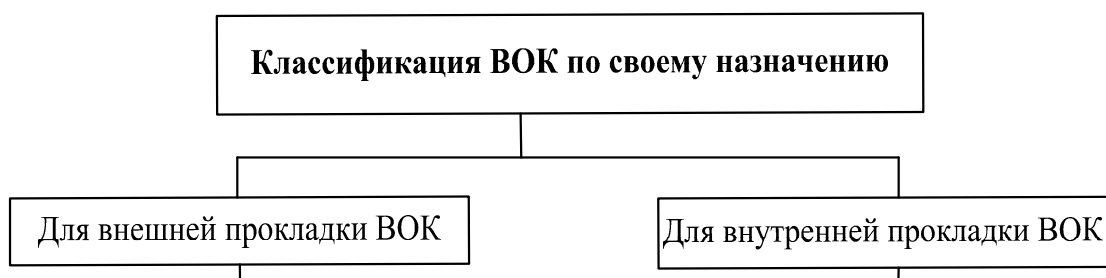


Рисунок 8 – Классификация ВОК по своему назначению

В свою очередь ОК подразделяются на:

– *Магистральные ОК* для передачи информации на большие расстояния и на большое число каналов.

– *Зоновые ОК* предназначены для связи областного центра с районами и городами области.

– *Городские ОК* применяются в качестве соединительных между городскими АТС и узлами связи. Они рассчитаны на короткие расстояния (5...10 км) и большое число каналов.

– *Сельские ОК* предназначены для организации сельской телефонной связи

– *Объектовые ОК* для передачи информации внутри объекта. Сюда относятся учрежденческая и видеотелефонная связь, внутренняя сеть кабельного телевидения, а также бортовые информационные системы подвижных объектов, например, самолётов, кораблей и спутников.

– *Станционные (монтажные) ОК* для межстоечных и блочных соединений и монтажа аппаратуры.

– *Полевые (тактические) ОК* применяются для организации скрытой связи в полевых условиях и работы по ним средств и комплексов оптической связи специального назначения.

ОК применяют на информационных сетях различного назначения, при этом они могут подвергаться всевозможным вредным воздействиям окружающей среды. Поэтому исходя из условий прокладки согласно МСЭ-Т ВОК можно разделить на две основные группы (рисунок 9):

- кабели для внешней прокладки (линейные ОК),
- кабели для внутренней прокладки (внутриобъектовые ОК).



Рисунок 9 – Классификация ВОК по условиям прокладки

В зависимости от условий прокладки и эксплуатации волоконно-оптических кабелей к их конструкции применяются соответствующие требования.

Заключение

Таким образом, в лекции была представлена структура и особенности применения открытых и волоконно-оптических систем передачи, а также многообразие волоконно-оптических кабелей связи исходя из их назначения и условий прокладки.

Знание настоящих положений обеспечит в дальнейшем грамотный подход к выбору волоконно-оптических кабелей связи и к эксплуатации ВОЛС.

Вопросы контроля знаний:

1. Волоконно-оптическая система передачи – определение, схема.
2. Оптические системы передачи – определение, схема.
3. Классификация ОСП по направляющей среде.
4. Открытые оптические системы передачи – определение.
5. Обобщённая структурная схема атмосферной оптической системы передач.
6. Принцип работы АОСП.
7. Особенности применения атмосферных оптических систем передачи.
8. Обобщённая структурная схема ВОСП.
9. Принцип работы ВОСП.
10. Особенности применения волоконно-оптических систем передачи, достоинства и недостатки.
11. Оптический кабель. Требования, предъявляемые к оптическим кабелям.

12. Классификация волоконно-оптических кабелей (ВОК) связи по назначению.

13. Классификация волоконно-оптических кабелей связи по условиям прокладки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 26599-85 Системы передачи волоконно-оптические. Термины и определения.

2. Мельников С.В. Классификация оптических систем передачи / С.В. Мельников, О.В. Титова // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. – 2011. – №1, 2.

3. Ларин, Ю.Т. Оптические кабели: методы расчета конструкций. Материалы. Надежность и стойкость к ионизирующему излучению / Ю.Т. Ларин. – М.: Престиж, 2006. – 304 с., ил.

4. Слепов, Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н.Н. Слепов. – М.: Радио и связь, 2000.

5. Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – 4-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2007. – 512 с.: ил.

6. Убайдуллаев, Р.Р. Волоконно-оптические сети / Р.Р. Убайдуллаев. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 282 с.: ил.