

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ю. А. Гусев

Телекоммуникационные сети

Часть I

Учебное пособие

Казань -- 2003

Печатается по решению редакционно-издательского совета
физического факультета Казанского государственного университета.

УДК 538.213

Рецензенты:

Сипкин Н.И., к.ф.-м.н., доцент кафедры квантовой электроники и
радиоспектроскопии Казанского государственного университета
Димитров Д.М., д.т.н., профессор, д.т.н. Действительный член РАН,
информатика и связь.

Аннотация.

В работе представлены основные сведения и принципы организации
связи в телекоммуникационных системах. Первая часть пособия
посвящена краткокому рассмотрению сигналов и методов их модуляции
с последующим представлением методов коммутации
телекоммуникационных сетей. Во второй части рассмотрены
интеллектуальные цифровые сети интегрального обслуживания
широко применяемые в современных информационных технологиях.

Данная работа поддержана грантом ВРНБ, РЭС. 007

Физический факультет Казанского государственного университета,
2003.

Полнотекстовый онлайн-сервис физического факультета КГУ.

Полнищено в печать 24.04.03. Заказ № 1-28-04/03, бумага офсетная, тираж 50 экз.

г. Казань, ул. Крестовская, дом 16-А, к. 010, тел. (8412) 35-90-16

Оглавление.

Список сокращений на английском языке	3
Список сокращений на русском языке	5
Предисловие	9
Введение	10
Исторические сведения	11
1. Принципы организации связи в телекоммуникационных системах	15
1.1. Сообщения, сигналы и методы их модуляции	15
1.1.1. Сообщения и принципы их передачи	15
1.1.2. Качество передачи сообщения	16
1.1.3. Спектральное представление электрического сигнала	16
1.1.4. Модуляция и демодуляция электрического сигнала	17
1.2. Импульсно-кодовая модуляция – основа построения цифровых систем передачи	21
1.2.1. Система ИКМ	21
1.2.2. Система синхронизации	22
1.2.3. Группообразование Систем ИКМ	22
1.2.4. Превозможная и синхронная цифровые иерархии	22
1.3. Асинхронные методы передачи	27
1.4. Основные принципы построения телекоммуникационных сетей	30
1.4.1. Система передачи информации	30
1.4.2. Система распределения информации	31
1.4.3. Принципы организации связи	31
1.5. Методы коммутации телекоммуникационных сетей	32
1.5.1. Разновидности методов коммутации	32
1.5.2. Сочетание метода передачи с методом коммутации	33
1.5.3. Тенденции развития методов коммутации	33
2. Интеллектуальные ЦСНО	37
2.1. Концепция и архитектура ЦСНО	37
2.1.1. Виды услуг, основные и дополнительные виды обслуживания	37
2.1.2. Система управления ДВО	38
2.1.3. Этапы развития интеллектуальных сетей	38
2.1.4. Концепция ИС	39
2.1.5. Процесс выполнения сервиса в ИС	41
2.1.6. Структура СИВД	41
2.2. Виды услуг, предоставляемых пользователям интеллектуальной сети	43
2.3. Виртуальные сети	45
2.3.1. Сфера применения ВЧС	45
2.3.2. Преимущества частных сетей	46
2.3.3. Виртуальные частные сети на базе ИЦСНО-ОП	46

2.4. Банковские сети	48
2.4.1. Обеспечение информационной безопасности	48
2.4.2. Критерии безопасности	49
2.4.3. Виртуальная банковская сеть на основе ИЦСИО	50
2.5. Сети фондового рынка ценных бумаг	50
2.5.1. Особенности срочного рынка ценных бумаг	50
2.5.2. Телекоммуникационная система фондового рынка ценных бумаг	50
2.5.3. Система внебиржевого рынка ценных бумаг	51
2.5.4. Российская телекоммуникационная фондовая система	53
Интервью	54

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

ACK - ACKnology
ADM — Add/Дроп Multiplexers
ARPA — Advance Research Project Agency
ATM — Asynchronous Transfer Mode
B — ISDN — Broad band ISDN
CC — CrossConnect
CCITT — International Telegraph and Telephone Consultative Committee
CHR — Committed Information Rate
CCM — CrossConnect Multiplexers
CS — Convergence Subfunction
CTF — Common Transfer Function
DLCI — Data Link Channel Identifier
DXC — Digital Crossconnect System
ECMA — European Computer Manufacturer Association
FCS — Frame Control Sequence
FPS — Fast Packet Switching
FR — Frame Relay
FS — Frame Switching
ICCC — International Computer Communication Conference
IDN — Integrated Digital Network
IETF — International Federation Information Proceedings
IN — Intelligent Network
INS — Information Network System
IP — Intelligent Peripheral
ISDN — Integrated Services Digital Network
ISO — International Organization for Standardization 1
ITU — International Telecommunications Union
ITU-T — Telecommunications Standardization Sector of ITU
LCF — Link Control Function
MTP — Message Transfer Part
NB-ISDN — Narrow Band ISDN
NCM — Network Capabilities Manager
NID — Network Information Database
NMS — Network Management System
NOW — Network Operating Workstation
NSP — Network Service Part
NT — Network Termination (NT-1 and NT-2)
OS — Operations System
PAD — Packet Assembler and Disassembler
PDH — Plesiochronous Digital Hierarchy
PI-ISDN — Public Intelligent ISDN
PIPSN — Public Intelligent Packet Switching Network
POS — Point Of Sell
PS — Packet Switching
RACE — Research and development in Advanced Communication technologies in Europe
SAR — Segmentation And Reassembly
SC — Switching Circuits
SCCP — Signaling Connection Control Point
SCP — Service Control Point
SDH — Synchronous Digital Hierarchy

SDL — Signalling Data Link
SENET — Slotted Enveloped Network
SIB — Service Independent Block
SII — Service Logic Interpreter
SLP — Service Logical Program
SLR — Synchronous Line Regenerator
SLX — Synchronous Line Multiplexer
SMS — Service Management System
SS — Switching System
SSP — Service Switching Point
STM — Synchronous Transfer Mode
TASI — Time Assignment Speech Interpolation
TCP/IP — Transmission Control Protocol/International Protocol
TMX — Terminal Multiplexer
TMN — Telecommunication Management Network
TNN — Transmission Network Management
UIS — Universal Information Services
VCI — Virtual Circuit Identifier
VP — Virtual Pass
VPI — Virtual Pass Identifier
VPN — Virtual Private Network
VPS — Virtual Pass Switching

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

АВМ — абонентская вычислительная машина
АВР — асинхронное временное разделение
АИМ — амплитудно-импульсная модуляция
АК — абонентский комплект
АЛ — абонентская линия
АМ — амплитудная модуляция
АМЦ — асинхронный метод передачи
АМТС — автоматическая междугородная телефонная станция
АП — абонентский пункт
АНР — асинхронное пространственное разделение (каналов)
АТА — аналоговый телефонный аппарат
АТС — автоматическая телефонная станция
АТС-К — координатная АТС
АУК — автоматический узел коммутации
БД — база данных
БЗУ — буферное запоминающее устройство
БКП — быстрая коммутация пакетов
БООС — блок операционного обслуживания системы
Ы — быстрый такт
Ы-ПСИО — блок пользователей ПСИО
БТП — блок телефонных пользователей
БУП — блок удаленных пользователей
ВД — временное деление
ВДК — временное деление каналов
ВК — виртуальный канал
ВЛС — входящая линия связи
ВОЛС — волоконно-оптическая линия связи
ВОС — взаимодействие открытых систем
ВНП — валовой национальный продукт
ВП — виртуальный пучок
ВС — виртуальное соединение
ВУЛ — входящая уплотненная линия
ВУО — взаимодействие удаленных объектов
ВЧС — виртуальная частная сеть
ВД — вспомогательная ячейка
ГК — гибридная коммутация
ДВО — дополнительные виды обслуживания
ДШ-АТС — декадно-шаговая АТС
ЗУ — запоминающее устройство
ИВС — интерпретатор вида сервиса
ИВС* — информационно-вычислительная система
ИКМ — импульсно-кодовая модуляция
ИКМ-ВД — ИКМ с временным делением каналов
ИЛС — исходящая линия связи
ИП — интеллектуальная периферия
ИС — интеллектуальная сеть
ИСКП-ОП — интеллектуальная сеть коммутации пакетов общего пользования
ИПСИО-ОП — интеллектуальная ПСИО общего пользования
ИУЛ — исходящая уплотненная линия
ИЦСС — интегральная цифровая сеть связи

КАВК — коммутатор асинхронной временной коммутации
КВ — коммутационный блок
КВК — коммутация виртуальных каналов
КВП — коммутация виртуальных пучков
КДС — канал данных сигнализации
КЕС — комиссия по Европейскому содружеству
КК — коммутация каналов
КОА — каналообразующая аппаратура
КомК — коммутация кадров
КП — коммутация пакетов
КПВ — контроль доставки вызова
Крк — кроссовая коммутация
КС — коммутационная система
КС-Б — КС типа Баньян
КС-Вен — КС Бенша
КС — коммутационный элемент
КСАТС — хвазизлектронная АТС
ЛВС — локальная вычислительная сеть
ЛС — линия связи
ЛСА — логическая схема алгоритма
ЛТ — линейный терминал
МВК — мультиплексор с выделением и кроссовой коммутацией отдельных каналов
МКрк — мультиплексор с Крк
МККПТ — Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии
МОС — Международная организация по стандартизации
МПКС — многопроцессорная коммутационная система
МПС — микропроцессорная система
МСЭ — Международный союз электросвязи
МСЭ-Т — Сектор по стандартизации телекоммуникаций МСЭ
НФЛ — Национальная физическая лаборатория (Великобритания)
ОБД — основная БД
ООД — оконечное оборудование данных
ООС — оконечное оборудование сети (ООС-1 и ООС-2)
ОП — общая передача
ОС — ответ станции
ОУК — оконечный УК
Пр — пространство
ПАС — программно-аппаратные средства
ПАС* — пункт абонентской системы
ПБ — протокольный блок
ПВ — пакет вызова
ПВ* — доставка вызова
ПД — пакет данных
ПИ — поле информации
ПКК — передача и коммутация кадров
ПТ — пакетный терминал
ПШИ — физическая цифровая иерархия
ПШ — промежуточный шнур
ПЭВМ — персональная ЭВМ
РВС — региональная вычислительная сеть
РТФС — Российская телекоммуникационная фондовая система
СавД — спутниковая база данных

САУ — система административного управления
 СВИС — сверхбольшая интегральная схема
 СВ — сигнал вызова
 СВР — синхронное временное разделение (каналов)
 СВУО — система взаимодействия удаленных объектов
 СИВД — сетевая информационная база данных
 СЖКП — синхронная комбинированная коммутация пакетов
 СЖКП — смешанная коммутация каналов и пакетов
 СКП — сеть коммутации пакетов
 СКРК — система кроссовых коммутаторов
 СЛМ — синхронный линейный мультиплексор
 СЛП — сервисная логическая программа
 СЛР — синхронный линейный регенератор
 СМШ* — синхронное мультиплексирование
 СМШ — синхронный метод передачи
 СОУ — система оперативного управления
 СПД — сеть передачи данных
 СПК — сеть пакетной коммутации
 СПР — синхронное пространственное разделение (каналов)
 СРС — сетевая рабочая станция
 СРС-ОП — СРС общего пользования
 СС АВМ — сеть связи АВМ
 СС-7 — система сигнализации № 7
 СтТ — ступицинный терминал
 Ст — сигнальная точка
 СТПИ — соединительный тракт передачи информации
 СУСП — система управления сетью передачи
 СУК — сигнальный узел коммутации
 СУП — сеть управления передачи
 СУЭ — система управления электровязью
 СШИ — синхронная цифровая иерархия
 СШ — соединительный шнур
 Т — терминал
 ТА* — телефонный аппарат
 ТА — терминальный адаптер
 ТВЧ — телевидение высокой четкости
 ТГ — тактовый генератор
 ТКС — точка коммутации сервиса
 ТМ — терминальный мультиплексор
 ТО — терминальное оборудование
 ТС — телекоммуникационная сеть
 ТС* — терминальная сеть
 Т-ПСИО — терминал ПСИО
 У-КС — узкополосная коммутационная система
 УЗУ — управляющее запоминающее устройство
 УК — узел коммутации
 УКП — узел коммутации пакетов
 УКСС — узел коммутации системы сигнализации
 УК-ПН — УК-платоз
 УПАТС — учрежденческо-производственные АТС
 УпрК — управление каналом
 УП-ПСИО — учрежденческо-производственные ПСИО

УПС-ПСИО — учрежденческо-производственная станция ПСИО
ури — устройство распределения информации
УСР — управление сетевыми ресурсами
УСС — управление сигналами соединением
УУ — управление устройством
У-ПСИО — узкополосная ПСИО
ФММ — фазомодульная модуляция
ФК — функциональный компонент
ПАК — цифровой абонентский комплект
КАУ — центр административного управления
ЦКрк — цифровой кроссовый коммутатор
ЦКП — центр коммутации пакетов
ПСИО — цифровая сеть интегрального обслуживания
ССС — цифровая сеть связи
ЦТА — цифровой телефонный аппарат
ЦУ-ДВО — центр управления ДВО
ЦУС — центр управления сервисом
ЧМ — частотная модуляция
ЧММ — частотно-импульсная модуляция
ЧПС — часть передачи сообщений
ШИМ — широко-импульсная модуляция
Ш-КС — широкополосная коммутационная система
И-ПСИО — широкополосная ПСИО
ЭАТС — электронная АТС
ЭВМ — электронная вычислительная машина
ЭУМ — электронная управляющая машина

ПРЕДИСЛОВИЕ

Последние десятилетия мы наблюдаем широкое применение оптоволоконных линий связи, что в сочетании с основными принципами передачи сигналов в цифровом виде привело к революционному развитию телекоммуникационных систем. Это продиктовано той ролью, которую они играют в разнообразных сферах человеческой деятельности – в экономике, промышленности, науке, культуре, строительстве, транспорте и т.д. Эти системы образуют информационную инфраструктуру общества.

Основным направлением развития телекоммуникационных систем является создание цифровых сетей интервального обслуживания (ISDN). Эти сети – результат взаимосвязанного развития сетей связи и вычислительных сетей. Логика развития сетей связи требовала применение цифровых систем передачи и вычислительных средств для решения задач маршрутизации, а логика развития вычислительной техники – все большего применения средств связи между отдельными устройствами вычислительных машин.

Требование времени заставило пересмотреть учебные курсы по подготовке специалистов востребованных на современном рынке труда. Знание фундаментальных основ электродинамики СВЧ – (сверхвысокочастот) являются необходимыми для последующей работы в областях современных телекоммуникаций, спутниковой связи, спутникового TV, приема-передачи сигналов в диапазоне от 300МГц до 2000МГц и многих других.

Применяя свои знания в области телекоммуникаций, последние десять лет, автор по просьбе студентов подготовил факультативный курс «Интеллектуальные цифровые сети», основные концепции которого помогают быстрее адаптироваться выпускникам университета в современном «внешнем» мире. Данное учебное пособие может быть полезно студентам физического и других факультетов изучающих область информационных технологий.

Автор благодарен за помощь в техническом оформлении рукописи Г.афаровой Д.И., рецензентам и будет признателен за будущие возможные замечания по материалу пособия.

ВВЕДЕНИЕ

Для активной финансовой деятельности субъектов экономики — различных предприятий, банков, фирм и т.д. — требуется надежная система связи. Однако существующая в России аналоговая телефонная сеть, оборудованная модемами для передачи данных, не обеспечивает требований пользователей как по скорости, так и по надежности передачи быстро возрастающего потока данных. В связи с этим в нашей стране не ускоренными темпами внедряется оборудование цифровых сетей. Как показал мировой опыт, наиболее перспективной является цифровая сеть, обеспечивающая интеграцию всех видов передаваемой информации (речь, данные, факсимильные и другие сообщения), получившая название *цифровая сеть интегрального обслуживания ЦСИО* (Integrated Services Digital Network — ISDN).

Одновременно на сетях начинают применяться интеллектуальная технология обработки запросов пользователей (абонентов) на выполнение тех или иных услуг связи. В таких сетях — их называют интеллектуальными — широко используются базы данных знаний, экспертные вычислительные системы и другие элементы искусственного интеллекта.

На базе интеллектуальных цифровых сетей общете пользования могут создаваться различного рода частные (учрежденные) и корпоративные сети, в том числе банковские сети, обеспечивающие необходимые сервис и повышенную защищенность передаваемых данных. В наиболее перспективной цифровой сети — широкополосной ЦСИО (Ш-ЦСИО) — Broadband ISDN (B-ISDN) предусмотрен специальный режим для связи локальных вычислительных сетей (ЛВС).

Цель данного пособия — ознакомить читателя с телекоммуникационными системами, представленными в виде цифровых сетей интегрального обслуживания с применением интеллектуальной технологии обработки заявок пользователей.

Из-за ограниченного объема учебного пособия в него включены лишь основные сведения о современных и перспективных телекоммуникационных сетях. Дается информация, необходимая как при выборе, так и при проектировании телекоммуникационных сетей, проектировании их развития. Определяются основные понятия, используемые в этой области, и излагается концепция интеллектуальных цифровых сетей.

Особое внимание уделено одному из наиболее перспективных принципов построения единой телекоммуникационной системы в виде цифровой сети интегрального обслуживания и интеллектуальным технологиям обслуживания запросов пользователей на предоставление различных услуг, обеспечивающих эффективность и комфортность при установлении связи с партнерами. Приведены сведения об организации на интеллектуальных цифровых сетях общего пользования виртуальных корпоративных и частных сетей.

В разделе 1 приведены начальные сведения о принципах передачи и распределения информации в телекоммуникационных сетях. Определены понятия сообщения, электрического сигнала и методов его модуляции. Достаточно подробно изложена имитационно-кодированная модуляция, являющаяся основой построения цифровых сетей. Описаны особенности системы плезиохронной и синхронной цифровой иерархии, их взаимосвязь, даны примеры цифровых кроссовых коммутаторов, применяемых в системе синхронной цифровой иерархии. Большое внимание уделено асинхронным методам передачи. Рассмотрены различные методы коммутации, используемые в современных цифровых сетях.

Раздел 2 завершает описание интеллектуальных цифровых сетей. В нем изложена концепция интеллектуальной сети (ИС), определенная в рекомендациях МСЭ-Т,

показана эволюция развития интеллектуальных сетей и рассмотрена архитектура ИС. Описаны виды сервера, представленные пользователям ИС, приведены сведения о принципах построения на базе интеллектуальных цифровых сетей общего пользования виртуальных частных и корпоративных сетей с повышенной информационной безопасностью, в частности банковских сетей и сетей фондового рынка ценных бумаг.

Для облегчения поиска нужной информации в данном пособии приведен справочник со списком принятых сокращений на русском и английском языках.

ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сети электросвязи (телекоммуникационные сети) вместе со средствами вычислительной техники представляют собой техническую базу любой распределенной информационной системы.

В Указе Президента Российской Федерации от 20.01.1994 г. "Об основах государственной политики в сфере информатизации" отмечено, что информатизация является фактором развития общества в целом. При этом подчеркивается необходимость создания и развития федеральных и региональных систем и сетей информатизации, совместимых в едином информационном пространстве России, а также обеспечения единства государственных стандартов в сфере информатизации и их соответствия международным рекомендациям и требованиям.

Федеральный закон о связи [1], регламентирует основные положения функционирования Федеральной связи в России, включая электросвязь.

В Законе определены: основные термины в области связи; понятие взаимозвязанной сети связи Российской Федерации как комплекса технологически сопряженных сетей электросвязи на территории страны; обеспеченного общим централизованным управлением; понятия сети связи общего пользования; ведомственных, внутрипроизводственных, технологических, а также выделенных сетей связи; основы управления и экономической деятельности в области связи и взаимоотношения предприятий связи, органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций и предприятий; права пользователей сетей связи; основы предоставления услуг связи; ответственность при осуществлении деятельности в области связи и порядок разрешения споров, а также основы международного сотрудничества в области связи. Развитие электросвязи в России имеет богатую историю, которая естественным образом переплетается с развитием электросвязи во всем мире.

К наиболее раннему виду электросвязи относится *телеграфная электросвязь*. Изобретателем и создателем электромагнитного телеграфного аппарата и первого телеграфного кода является российский ученый П.Л.Шиллиш, который в 1832 г. построил первую линию телеграфной электросвязи. Его последователем, российским ученым В.С.Акоби был изобретен и построен первый в мире буквопечатательный телеграфный аппарат (1850 г.) Им же разработан принцип синхронной передачи сообщений.

Большой вклад в развитие телеграфной электросвязи на первом этапе ее развития внесли американские специалисты С. Морзе и Д. Юз, англичанин Ч. Уитстон и француз Ж. Бодо [2].

История развития *телефонной электросвязи* начинается с изобретения в 1876 г. А. Беллом электромагнитного телефона. Первый узел коммутации сети электросвязи, предназначенный для соединения между собой абонентских линий в виде ручной телефонной станции, в которой все соединения абонентских линий между собой выполнялись человеком, был открыт в 1878 г. (США).

Развитие автоматических телефонных станций (АТС) берет свое начало с создания в 1887—1896 гг. российскими инженерами К.М.Мосцишким, М.Ф.Фрейдленбергом и С.М.Бердяевским-Апостоловым первых электромеханических АТС. С этого времени пошел бурный процесс развития разнообразных автоматических АТС. С этого времени (АУК) и создания различных сетей электропередачи (теелефонных, телеграфных, а в последующем и сетей передачи данных). Были созданы различные типы (поколения) электромеханических АУК, начиная от декадно-шаговых и машинных АТС и кончая релейсно-микровыми АУК типа координатных АТС, использующих на телефонных сетях России и других стран до настоящего времени [3].

Вместе с тем в период развития электромеханических систем и сетей электропередачи с начала 50-тх гг. стали внедряться на сетях новые методы коммутации и передачи информации, основанные на использовании электроники, вычислительной техники и цифровых систем передачи.

В 1957 г. состоялся Первый международный симпозиум по коммутации, на котором обсуждалась перспектива создания АТС с программным управлением. Такое обсуждение стимулировало внедрение электронных вычислительных машин (ЭВМ) в качестве управляющих устройств в виде электронных управляющих машин (ЭУМ) узлов коммутации (УК).

Применение вычислительной техники в УК явилось началом интеллектуализации электропередачи.

На практике программное управление на УК впервые было применено на АТС системы ESS-1, в 1962 г. Система ESS -1, основанная на АТС квазиэлектронного типа (КЭАТС), в которой электронное управляющее устройство в виде ЭУМ сочеталось с электро-механическим полем коммутации, основанным на применении в разговоровом тракте малотокбаритных и быстроредействующих электромагнитных с металлическим контактом коммутационных приборов, названных ферридами. В последующем различные системы квазиэлектронных АТС с программным управлением получили широкое распространение во многих странах [3].

Параллельно с разработкой КЭАТС проводились исследования по созданию полностью электронных АТС (ЭАТС) с использованием различных методов модуляции и уплотнения линий связи (частотной, фазовоимпульсной, амплитудно-импульсной и др.), из которых; наиболее экономична и эффективна импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) в сочетании с временным делением каналов (ВДК).

Опытная эксплуатация первой ЭАТС началась еще в 1955 г., а коммерческая — в 1963г.

Система ИКМ с ВДК, называемая также синхронным мультиплексированием (СМП), является одним из основных компонентов, используемых при построении современных ЭАТС и цифровых систем электропередачи. Принцип ИКМ, предложенный в конце 30-х гг. французским инженером А.Риве [4], берет свое начало от амплитудно-импульсной модуляции (АИМ). Теоретическое обоснование (АИМ), обеспечивающей дискретизацию передаваемого непрерывного (аналогового) сигнала, было дано В.А.Котельниковым в его знаменитой теореме [5]. Однако ряд специалистов западных стран считают автором АИМ Х. Найквиста, который в 1928 г. высказал лишь сам принцип дискретизации, а четкое определение теоремы, обосновывающей этот принцип, было сделано позже К.Шенноном независимо от В.А.Котельникова.

Таким образом, в период всеобщего распространения аналоговых систем коммутации и передачи информации были заложены элементы цифровых сетей электропередачи.

В такой доцифровой период развития электропередачи были внедрены и другие элементы цифровизации систем электропередачи. Среди них отметим введение в эксплуатацию первого коаксиального транзитантинического кабеля для телефонной связи — ТАТ-1 (1955 г.), со-здание первого коммерческого модема (1958 г.). В 1960 г.

на TAT была установлена аппаратура (Time Assignment Speech Interpolation), позволявшая за счет статистического уплотнения передаваемых телефонных сообщений повысить пропускную способность TAT с 36 одновременных разговоров до 84. В этом же году в лаборатории А.Велла состоялась демонстрация первого лазера, а в 1961 г. лаборатория фирмы "Ксерокс" (Херош) продемонстрировала факсимильный аппарат. Впервые 24-канальная система ИКМ (ИКМ-24) была применена в сети фирмы AT&T (США) в 1962 г., а в Европе по инициативе Франции была разработана и в 1968 г. введена в эксплуатацию система ИКМ 30/32 с тридцатью разговорами (информационными) каналами, одним каналом синхронизации для передачи сигналов взаимодействия при установлении и разрыве связи и одним каналом синхронизации.

Заметным шагом в интеллектуализации сетей связи стало введение в 1967 г. в США фирмой "Белл оперейтинг компани" "Сервиса 800, обеспечивающего телефонную связь с оплатой разговора за счет вызываемого абонента.

Успехи в области электросвязи и вычислительной техники привели к созданию в США в 1969 г. первой сети ЭВМ ARPА (ARPA), в которой использовалась для взаимосвязи абонентских вычислительных машин (АВМ) сеть связи с новым методом коммутации пакетов Сеть пакетной коммутации получила широкое распространение в последующих поколениях сетей ЭВМ и в современных интегральных сетях связи.

С начала 70-х гг. начался первый этап цифрового периода развития современных систем и средств электросвязи, при котором стали экспериментов сведениям ЭАТС и цифровых каналов связи сменилась бурным их внедрением на сетях связи.

Впервые на сети общего пользования была установлена в 1970 г. в г.Ланьоне (Франция) разработанная фирмой "Алькател" (Alcatel) цифровая ЭАТС Е10. В 1973 г. был впервые введен в эксплуатацию 24-километровый волоконно-оптический кабель в Германии. В 1973 г. в сети ARPА был введен новый протокол TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), на базе которого в настоящее время получило большее развитие сеть Интернет (Internet) [6].

Появление программно-управляемых ЭАТС, использование в коммутационном поле системы ИКМ с ВДК, а также возникновение и развитие цифровых каналов явились предпосылками для создания интегральных цифровых систем связи (ИЦСС) — Integrated Digital Network — (IDN), с которыми связано начало второго этапа цифрового периода развития современных систем и средств электросвязи.

В ИЦСС, представляющей собой полностью цифровую систему, осуществляется интеграция коммутационного и каналообразующего оборудования на базе ИКМ с ВДК. Разработка нового метода коммутации — коммутации пакетов и создание сетей ЭВМ с пакетной коммутацией вызвали появление гибридных сетей, в которых интегрируются два метода коммутации — коммутации каналов и пакетов [7,8]. Гибридные сети и ИЦСС обеспечили базовые предпосылки для перехода в начале 80х гг. к третьему этапу цифрового периода развития современных систем и средств электросвязи — появлению цифровых сетей интегрального обслуживания (ЦИИ Integrated Services Digital Network — ISDN) [9-20].

В ЦСИО на основе единых принципов построения и функционирования с использованием ограниченного числа многофункциональных интерфейсов «пользователь — сеть» интегрируется не только коммутационное и передающее оборудование, как в ИЦСС, но и различные виды передаваемой информации (речь, данные и т.д.), методы коммутации (КК и КП), различные виды обслуживания (сокращенный номер, обратный вызов, передача сообщения вызова и др.).

Предоставление пользователю (абоненту) возможности передачи той или иной информации (речь, данные и др.), выбора метода коммутации (КК, КП) и того или иного вида обслуживания его заявки (услуга) при установлении связи принято

называть *сервисом электросвязи*.

При этом если передача разнообразной информации производится через многофункциональный интерфейс «пользователь — сеть» с одного и того же абонентского пункта, включаются различные терминалы — аналоговый и цифровой телефонные аппараты, персональную ЭВМ (ПЭВМ), факсимильный аппарат и др., по одной и той же абонентской линии (АЛ) с применением метода КК или метода КТ и с использованием различных видов обслуживания заявок пользователя, то говорят, что пользователю предоставляется *интегрированный сервис* или, другими словами, осуществляется интегральное обслуживание пользователя (абонента) сети.

Одна из основных особенностей ЦСИО — использование пакетной системы сигнализации №7 как при КК, так и при КТ, разработанной ранее для телефонной сети (1976 г.).

В результате исследований, проведенных в последние годы, получен ряд экспериментальных и коммерческих широкополосных ЦСИО (Ш-ЦСИО) — Broadband ISDN (BISDN). Ш-ЦСИО позволяет интегрировать в одной сети и кабельное телевидение. При этом Ш-ЦСИО основывается на новом асинхронном методе передачи (АМП) — Asynchronous Transfer Mode (ATM) и новом методе коммутации, получившем название *быстрая коммутация пакетов* (БКП) — Fast Packet Switching (FPS) [14,16,21-23].

Метод АМП, представляющий собой асинхронное временное мультиплексирование, базируется на известном ранее адресно-кодированном способе передачи информации и методе КТ. В значительной степени на возможность практического использования АМП и БКП для создания Ш-ЦСИО повлияло наличие высокопроизводительных микропроцессорных систем (МПС) и волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).

В 1984 г. Международным консультативным комитетом по телеграфии и телефонии (МККТТ) — International Telegraph and Telephone Consultative Committee (ССТТ) были выпущены первые рекомендации новой серии 1 по ЦСИО, которые получили дальнейшее развитие в первую очередь по Ш-ЦСИО [19].

Первый узел Ш-ЦСИО в Европе был разработан в рамках проекта ВЕРКОМ (VERKOM Communications-system), который в 1986 — 1991 г.г. был введен в коммерческую эксплуатацию на берлинской сети.

В настоящее время Ш-ЦСИО введены в опытную или коммерческую эксплуатацию в ряде западных стран.

Современный этап цифрового периода развития сетей электросвязи характеризуется их активной интеллектуализацией [24].

Внедрение на УК программноуправляемого управления, когда в качестве управляющих устройств стали использоваться ЭУМ, создало предпосылку интеллектуализации технологий обработки вызовов при установлении связи. Существенный шаг по пути интеллектуализации был сделан при введении в сеть АТ&Т (США) Сервиса 800. Однако реальное введение на сети интеллектуальной обработки вызовов началось с конца.

В 80-х гг., когда была сформулирована концепция технологии обработки вызовов, требующих специальных (дополнительных) услуг, с применением элементов искусственного интеллекта [25-28]. Такие сети получили название интеллектуальных сетей (ИС) — Intelligent Network (IN).

Испытание первой в Европе интеллектуальной сети (I-формания) состоялось в сентябре 1992 г., а с 1993 г. она находится в коммерческой эксплуатации [29]. В 1993 г. Сектором по стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи — МСЭ-Т

(ITU-T) была выпущена новая группа Рекомендаций 0.1200 [30] по интеллектуальной сети.

По прогнозам различных фирм, опубликованным в газете Communications Week

Интернационал, в ближайшие годы продолжится развитие и широкое применение Ц-ЦСИО с использованием интеллектуальной технологии. Интеллектуальные сети на основе Ц-ЦСИО займут лидирующее место в телекоммуникационных системах при создании, в частности, различного рода частных и корпоративных сетей.

Перспективы дальнейшего развития электросвязи, в том числе создание на базе

Ц-ЦСИО системы мультимедиа, изложены в [31]. В частности, точка зрения фирмы «Сименс» о характере телекоммуникационных систем в XXI в. была высказана на Всемирном конгрессе по телекоммуникации в Берлине [32].

Развитие электросвязи в России подробно изложено в [33].

1. Принципы организации связи в телекоммуникационных системах.

1.1. СООБЩЕНИЯ, СИГНАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ МОДУЛЯЦИИ

Непрерывный рост объема и разнообразия информации, необходимой для управления страной, фирмами, банками и другими субъектами рыночной экономики, а также для удовлетворения личных потребностей отдельных граждан страны, требует непрерывно развиваться личным потребностям системы обработки, хранения и распределения информации. Для обеспечения этих функций информация должна быть представлена в виде сообщения [34]. Сообщение, подлежащее передаче по телекоммуникационной сети, может сопровождаться служебной информацией, обеспечивающей обнаружение и устранение возникающих при ее передаче искажений (ошибок); в служебной информации могут содержаться сведения об ее категоричности, адресах источника и потребителя информации, объеме передаваемого сообщения и др.

1.1.1. СООБЩЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ ИХ ПЕРЕДАЧИ

Сообщения подразделяются на непрерывные (аналоговые) и дискретные. *Непрерывным* называется сообщение, которое описывается непрерывной функцией времени.

В отличие от непрерывного *дискретное* сообщение представляет собой последовательность отдельных элементов в виде цифр, букв и других знаков.

Принцип передачи сообщения по сети электросвязи представлен на рис. 1.1 [34].

Источник может формировать как непрерывное (аналоговое), так и дискретное сообщение $a(t)$. В любом случае для его передачи по сети электросвязи необходимо преобразовать сообщение в электрический сигнал $S(t)$. В свою очередь, электрический сигнал может быть как непрерывным (аналоговым), так и дискретным. *Непрерывный электрический сигнал* характеризуется частотой передачи, а *дискретный электрический сигнал* - скоростью передачи элементов (импульсов и совокупностей).

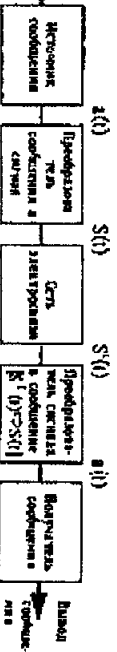


Рис. 1.1. Принципы передачи сообщений по сети электросвязи

При преобразовании сообщения в электрический сигнал непрерывное (аналоговое) сообщение может быть преобразовано как в непрерывный (аналоговый), так и в дискретный электрический сигнал, а дискретное сообщение — соответственно в дискретный или в непрерывный (аналоговый) электрический сигнал. С внедрением на сетях электросвязи волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) сообщение в этом

случае преобразуется в *оптический сигнал*.

На приемной стороне сигнал преобразуется в сообщение, которое будет передано получателю сообщения. Приемлемый электрический сигнал в процессе его передачи по сети электропровода может искажаться, и вместо сигнала $S(t)$ будет получен сигнал $S'(t)$.

В связи с этим в системах электропровода для обнаружения или устранения таких искажений при передаче дискретных сообщений применяется мехкозашипающее кодирование сигнала. На приемном конце в процессе преобразования сигнала в сообщение в соответствии со служебной (дополнительной) информацией, присланной на исходном конце при кодировании дискретного сигнала, такое искажение может быть обнаружено и при определенных условиях даже исправлено. В этом случае говорят, что в качестве служебной информации используется соответственно обнаруживающий или исправляющий код. При применении обнаруживающего кода приемная сторона может затребовать повторную передачу данного сообщения.

1.1.2. КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЯ

Качество передачи аналогового сообщения (например, разборчивость речи) оценивается экспериментально, на основе чего определяются соответствующие нормы и стандарты.

Качество передачи дискретного сообщения оценивается коэффициентом частотности ошибок, т.е. отношением числа ошибочно принятых элементов к общему числу переданных элементов сообщения.

1.1.3. СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Любой электрический сигнал можно разложить на некоторое число периодических сигналов, каждый из которых имеет постоянный период повторения его значения. Если рассматривается непрерывный периодический сигнал, то простейшим его видом является гармоническое колебание (рис. 1.2, а).

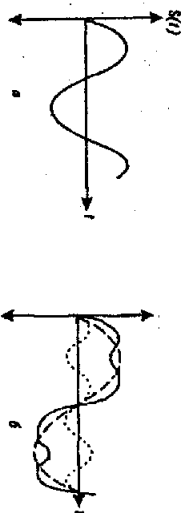


Рис. 1.2. Разложение непериодического электрического сигнала на гармоники

Подбирая то или иное число гармоник с различным периодом их колебания, т.е. с различной их частотой, можно разложить на такие гармоники любой непериодический сигнал. Например, на рис. 1.2, б изображено разложение непрерывного непериодического сигнала (сплошная линия) на две гармоники с различными частотами (пунктирные линии). При более сложном виде передаваемого сигнала для его неискаженного представления потребуются разложение сигнала на значительно большее число гармоник. Число гармоник, на которое разлагается сигнал, называют спектром частот этого сигнала. Для реальных сигналов, передаваемых по сети электропровода,

спектр частот для их неискаженной передачи должен бы быть бесконечно широким. Однако на практике принимают ограниченный спектр частот, при котором существует пусть неидеальное, но достаточно приемлемое качество передачи, не приводящее к существенному искажению сигнала, а следовательно, и сообщения.

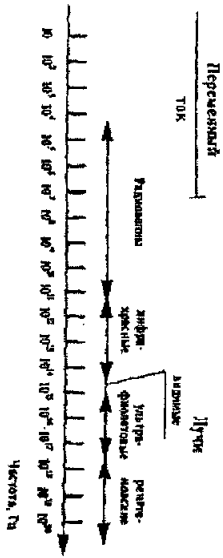


Рис. 1.3. Спектры частот и волн для различных видов связи

1.1.4. МОДУЛЯЦИЯ И ДЕМОДУЛЯЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА

При формировании сигнала, поступающего в сеть электросвязи, необходимо учитывать среду передачи, для чего сигнал преобразовывается в соответствующий вид, но с сохранением основных свойств первичного сигнала. Такое преобразование сигнала называется *модуляцией*. В пункте приема осуществляется обратное преобразование (*демодуляция*). В процессе взаимосвязи удаленных объектов происходит как передача, так и прием сигналов на каждом из корреспондирующих удаленных объектов. В связи с этим на любом из них должны осуществляться как модуляция (при передаче), так и демодуляция (при приеме) сигналов. Устройство, осуществляющее эти две функции, называется *модемом*.

Все виды модуляции подразделяются на непрерывные и импульсные. **Непрерывные виды модуляции.** К ним относятся амплитудная, частотная и фазовая модуляция.

При непрерывных методах модуляции используется некоторый переносчик сигнала в виде гармонического колебания высокой частоты — *несущее колебание* (часто говорят "*несущая частота*"). В этом случае модуляция представляет собой процесс изменения одного или нескольких параметров (частоты, амплитуды, фазы) по закону первичного сигнала, т.е. несущее колебание наделяется признаками первичного сигнала. На входном конце осуществляется обратное преобразование (демодуляция), при котором из модулированного сигнала выделяется первичный сигнал.

Таким образом, при амплитудной модуляции (АМ) в несущем колебании изменяется амплитуда (рис. 1.4).

На рис. 1.4,а-в изображены временные диаграммы соответственно первичного сигнала, несущего колебания и амплитудно-модулированного сигнала.

При изменении частоты несущего колебания имеем частотную модуляцию (ЧМ). Частотно-модулированный сигнал для того же первичного сигнала (см. рис. 1.4,а) изображен на рис. 1.4,г.

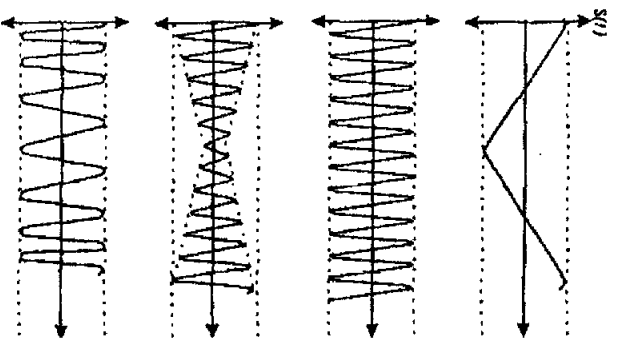


Рис. 1.4. Модуляция аналогового сигнала, передаваемого по аналоговой среде

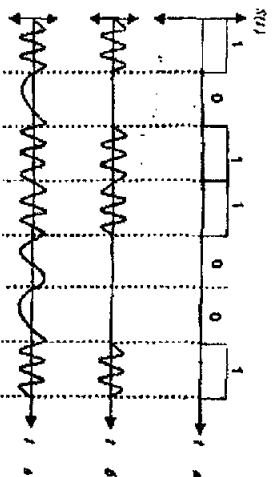


Рис. 1.5. Модуляция дискретного сигнала передаваемого по аналоговой среде.

При передаче дискретного сигнала по аналоговой среде также используется модуляция первичным дискретным сигналом гармонического несущего колебания. При этом, как и ранее, возможны три вида модуляции: амплитудная, частотная и фазовая. На рис. 1.5 изображены временная диаграмма двоичного дискретного сигнала (а) и временные диаграммы при его амплитудной (б) и частотной (в) модуляции. Импульсные виды модуляции. В качестве переносчика сигнала используются периодически повторяющиеся прямоугольные импульсы.

В соответствии с функцией непрерывного сигнала может изменяться один из параметров двоичной последовательности импульсов: амплитуда импульса (амплитудно-импульсная модуляция - АИМ), частота следования импульсов (частотно-импульсная модуляция - ЧИМ), ширина импульса (цифрово-импульсная модуляция - ШИМ), фаза импульса, т.е. положение импульсов относительно тактовых

(синхронизирующий) момент времени (фазомольская модуляция - ФММ).

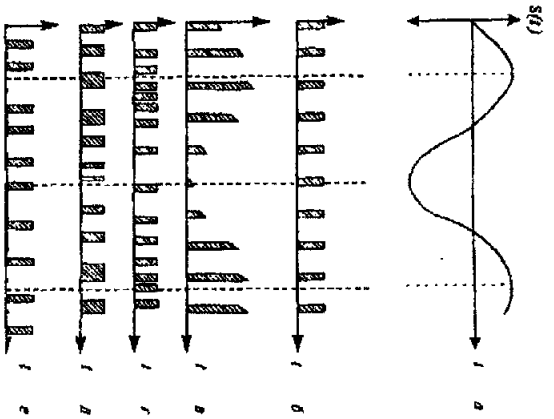


Рис. 1.6. Импульсные виды модуляции электрического сигнала

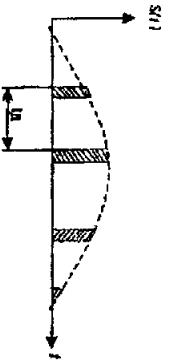


Рис. 1.7. Цикл дискретизации электрического сигнала

На рис. 1.6 представлены временные диаграммы первичного аналогового сигнала (а), тактовая последовательность моментов времени (отсчетов) в виде синхронизирующих импульсов, вырабатываемых тактовым генератором — ТГ (б), и модулированные сигналы с использованием АИМ (в), ЧИМ (г), ПЧИМ (д) и ФИМ (е).

Когда величина импульсов тактового генератора принимается достаточно большой, все модулированные импульсы являются однополярными (см. рис. 1.6)

Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). В современных системах электроосвязи из всех видов импульсной модуляции она наиболее широко применяется. ИКМ основана на кодировании амплитуд импульсов, полученных с использованием АИМ. Частота дискретизации электрического сигнала. Для корректного воспроизведения на приемном конце первичного сигнала частота тактового генератора, а значит, и частота следования мгновенных амплитуд первичного сигнала, как доказано в теории В.А. Котельникова [5], должны быть не менее удвоенной максимальной частоты F_{\max} спектра частот передаваемого аналогового сигнала. Такую частоту синхронизации называют *частотой дискретизации* F_n , т.е.

$$F_0 = 2 F_{\max}$$

Например, при передаче речи считается, что спектр передаваемых частот составляет от 300 до 3400 Гц. Здесь $F_{\max} = 3400$ Гц. Следовательно, частота F_0 дискретизации, по теореме В.А. Котельникова, должна быть не менее 6800 Гц. Однако для удобства представления частоты дискретизации в двоичной форме она принимается равной 8000 Гц.

При такой частоте дискретизации связность мгновенных амплитуд, т.е. интервалы между ними, составят

$$t_0 = \frac{1}{F_0} = \frac{1}{8000} = 250 \text{ мкс.}$$

Связность мгновенных амплитуд называется пиком дискретизации (рис. 1.7).

Отметим, что длительность импульсов, соответствующих мгновенным амплитудам, может быть сколь угодно малой.

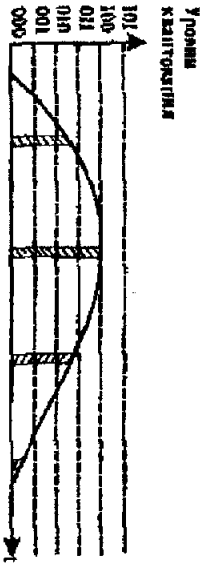


Рис. 1.8. Квантование амплитуды электрического сигнала

Квантование амплитуды электрического сигнала.

При переходе от АИМ к ИКМ осуществляется квантование (рис. 1.8), т.е. деление мгновенной амплитуды на некоторое число уровней (уровней квантования), каждый из которых кодируется двоичным числом. Для качественной передачи речи принимается 256 уровней квантования, следовательно, двоичное кодовое число имеет 8 разрядов.

Цифровая система передачи. Величина мгновенной амплитуды передается в виде цифры, представленной в двоичном виде, а каждому двоичному разряду такого числа соответствует двоичный импульс. Поэтому системы передачи с ИКМ принято называть *цифровыми системами передачи*. Для передачи речи, как было отмечено выше, требуется восемь двоичных импульсов. Поэтому общая скорость передачи импульсов для одного речевого сообщения в виде ИКМ-сигнала составит

$$F_{н.л} = F_0 \cdot 8 = 8000 \cdot 8 = 64 \text{ кбит/с.}$$

Следовательно, для качественной передачи речи требуется цифровой канал со скоростью передачи 64 кбит/с. Поэтому в узкополосных цифровых сетях интегрального обслуживания (У-ИКСИО) — Nattow Band Integrated Services Network (NB-ISDN), в которых интегрируются речь и данные, основным информационным каналом является канал со скоростью передачи 64 кбит/с.

Расстояние между двумя уровнями квантования называется шагом квантования.

Преобразование квантованных амплитуд АИМ-сигнала в цифровую последовательность называется кодированием, обратное преобразование последовательности двоичных импульсов в АИМ-сигнал — декодированием. После декодирования для получения первоначального сигнала осуществляется операция

демодуляции.

Так как величина мгновенной амплитуды оказывается между двумя уровнями квантования, для ее представления принимается двоичная цифра, приписанная или нижему, или верхнему уровню квантования, из-за чего на приемном конце сигнал оказывается искаженным. В этом случае говорят, что возникает шум квантования.

Двоичная модуляция электрического сигнала. Для передачи двоичных импульсов по радио- или спутниковым каналам, в которых передача сигнала является непрерывной, двоичный цифровой сигнал подвергается вторичному преобразованию с использованием гармонического несущего колебания достаточно высокой частоты. В результате будут получены радиопередача, способные распространяться в эфире.

Сочетание первой и второй ступени модуляции позволяет получить сигнал с двойной модуляцией, например, вида ИКМ-АМ. Известны и находят широкое применение в радио- и спутниковых каналах и другие двоичные модуляции.

Оптическая модуляция и демодуляция. При передаче сигналов по ВОЛС необходимо преобразовать электрический сигнал в оптический путем оптического модулятора, на выходе которого световой луч оказывается промодулированным поступающим сигналом. На приемном конце световой сигнал с помощью фотодетектора преобразуется в электрический сигнал.

Дельта-модуляция электрического сигнала. Является второй разновидностью цифровой импульсной модуляции. Здесь передается не вся кодовая комбинация, оптимальная на соответствующем уровне квантования величины мгновенной амплитуды, а лишь изменения значения мгновенной амплитуды при переходе от одного уровня дискретизации к другому (см. рис. 1.8). В простейшем случае при увеличении мгновенной амплитуды передается сигнал о ее единичном приращении (например, +1), а при уменьшении амплитуды — сигнал о ее единичном уменьшении (например, -1).

Таким образом, при значениях изменения амплитуды (+1 — при приращении, -1 — при уменьшении и 0 — при неизменном значении) можно закодировать двумерным двоичным числом. В этом случае скорость передачи импульсов по каналу связи составит:

$$F = 8000 \cdot 2 = 16 \text{ кбит/с}$$

Следовательно, с помощью дельта-модуляции можно значительно снизить скорость передачи, а зная, использовать каналы с меньшей пропускной способностью, чем при ИКМ. Однако из-за своих недостатков дельта-модуляция нашла ограниченное применение.

Как ИКМ, так и особенно дельта-модуляция имеют ряд модификаций. Более подробно с видами модуляции, в том числе и импульсными, можно ознакомиться в [2,4,34,35].

1.2. ИМПУЛЬСНО-КОДОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ - ОСНОВА ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

1.2.1. СИСТЕМА ИКМ.

Преобразование сообщения в электрический сигнал, а затем в ИКМ-сигнал определяет интервал времени для передачи восьми импульсов, который называется временным каналом системы ИКМ со скоростью передачи импульсов 64 кбит/с. В связи с тем, что длительность импульса и интервала между импульсами измеряется долями микросекунды между одним и тем же временным каналом в соседних циклах дискретизации (кадрах), можно размещать другие временные каналы (рис. 1.9). Таким образом, в линии связи осуществляется синхронное временное мультиплексирование каналов.

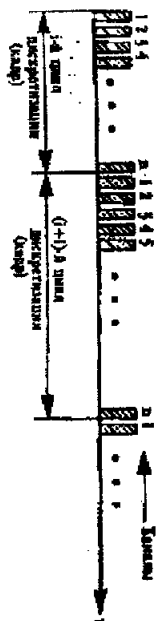


Рис. 1.9. Синхронное временное мультиплексирование

В Европе в качестве стандарта принята система ИКМ-30/32, в которой временных каналов из 32 ($n=32$) используется в качестве информационных каналов для передачи речи, данных и т.п.; один канал

— для сигнализации (для передачи служебных сигналов, например, при установлении связи) и один канал

— для синхронизации. В США, Японии и ряде других стран используется система ИКМ-24 с 24 каналами, из которых 23 — информационные каналы. Многоканальная система ИКМ, в которой временные каналы распределяются по шкале времени, получила название системы ИКМ с временным делением каналов (ИКМ-ВД). В системе ИКМ-30/32 скорость передачи импульсов составляет $64 \text{ кбит/с} \cdot 32 = 2,048 \text{ Мбит/с}$.

1.2.2. СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ

Очевидно, правильный прием ИКМ-сигналов может быть обеспечен только при высокостабильной системе синхронизации всех устройств сети, что является достаточно сложной задачей.

Для устойчивого приема ИКМ-сигналов в системе ИКМ-ВД используется синхронизация трех типов: по тактовой частоте, по кодовым группам (каналам) и по пикам дискретизации (кадрам). Имеется и сверхцикловая синхронизация [34].

1.2.3. ГРУППООБРАЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИКМ

Система ИКМ-30/32 является базовым модулем (первичная группа). Для создания систем с большим числом каналов используются вторичная, третичная группы и т.д. [4]. Таким образом создается иерархическая система передачи с коэффициентом, равным 4, т.е. $(30 \cdot 4 = 120)$ -канальная система (вторичная группа) со скоростью передачи $8,192 \text{ Мбит/с}$, $(120 \cdot 4 = 480)$ -канальная система (третичная группа) со скоростью передачи примерно 34 Мбит/с , $(480 \cdot 4 = 1920)$ -канальная система (четверичная группа), со скоростью передачи примерно 140 Мбит/с .

В системах ИКМ-30 и ИКМ-120 могут использоваться обычные электрические кабели, для ИКМ-480 и ИКМ-1920 требуется уже коаксиальный или оптический кабель.

В современных системах для систем ИКМ со скоростями передачи 34 и 140 Мбит/с широко используются ВОЛС.

1.2.4. ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СО СКОРОСТЯМИ ПЕРЕДАЧИ 34 И 140 МБИТ/С ПОЛУЧЕНА НАЗВАНИЕ «ПЛЕЗИОХРОННАЯ ПИФРОВАЯ ИЕРАРХИЯ» (ПЦИ) — Ρεsισιστοχρονος Digital Hierarchy (ΡDН)

Иерархическая система со скоростями передачи 34 и 140 Мбит/с получила название «плезиохронная цифровая иерархия» (ПЦИ) — Ρεsισιστοχρονος Digital Hierarchy (ΡDН)

[36]. ПИИ в настоящее время заменяется синхронной цифровой иерархией (СПИ) — Synchronous Digital Hierarchy (SDH) [37]. Идея СПИ предложена фирмой «Беллкор» (Bellcore) в 1984 г. Первые рекомендации МККТТ в качестве международных стандартов по СПИ были приняты в 1988 г. [38] и развиты в 1992 г. В Рекомендации МККТТ G 0.703 определена иерархическая архитектура СПИ, определяющая два уровня подразделяемых на подуровни [39-43].

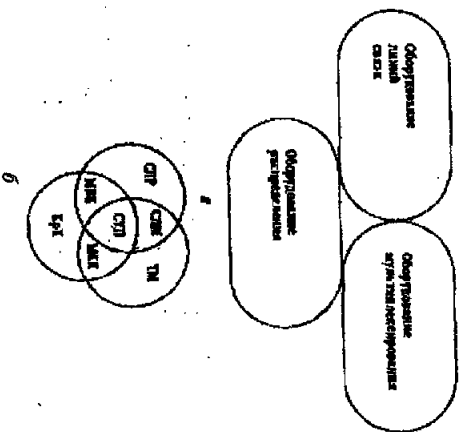


Рис. 1.10. Классификация оборудования сети связи при ПИИ (а) и СПИ (б)

Синхронная цифровая иерархия наряду с 64 кбит/с и 2 Мбит/с каналами, предполагает наличие высокоскоростных каналов (155, 622 Мбит/с и 2,5 Тбит/с) и наиболее соответствует системам передачи с ВОЛС. При этом использование СПИ в сочетании с системой управления электровазис (СУЭ) — Telecommunications Management Network (TMN) позволяет перейти к новому эволюционному этапу развития цифровых систем передачи [37] с применением кроссовой коммутации (Крк) - CrossConnect (CC) [44,45].

Уровни синхронной цифровой иерархии. Синхронная цифровая иерархия за счет введения системы цифровых кроссовых коммутаторов (ЦКрк) — Digital Crossconnect System (ДКС) нескольких уровней обеспечивает гибкость сети и оперативность управления сетью [43].

С момента утверждения рекомендаций МККТТ по СПИ был разработан ряд новых элементов для сети передачи, которую иногда называют транспортной сетью (не путать с названием «транспортная сеть» при рассмотрении транспортной системы уровня эталонной 7-уровневой модели открытых систем). Кроме того, были введены новые виды сервиса (обслуживания, услуги). Концепция ПИИ предусматривает классификацию оборудования в зависимости от выполняемых им функций, т.е. функционально-ориентированную классификацию оборудования (рис.1.10,а).

В последние годы разработаны новые устройства, в которых осуществляется интеграция ряда функций передачи и распределения каналов, например,

Мультиплексоры выполняют и функции кроссовой коммутации.

В соответствии с рекомендациями Международного консультативного комитета по телеграфии и телефону (МККТТ) — International Telegraph and Telephone Consultative Committee (ССТТ) любая система ЦКРК определяется как система, обеспечивающая взаимосвязь двух и более интерфейсов с максимальной для данного ЦКРК скоростью передачи (номинальной скоростью передачи) или любой более низкой скоростью.

Данное определение ЦКРК (ДХС) породило новый подход к классификации ЦКРК и интеграции. в одном устройстве функций кроссовой коммутации, мультиплексирования и других функций, выполняемых линейным и терминальным оборудованием (рис. 1.10, б):

СЛР (SLR — Synchronous Line Regenerator) — синхронный линейный регенератор;
СЛМ SLX - Synchronous Line Multiplexer) — синхронный линейный мультиплексор;
ТМ (TMX — Terminal Multiplexer) — терминальный мультиплексор;

СУП (TNM — Transmission Network Management) — сеть управления передачей

В этом случае при выборе сочетания функций ориентируются на область применения ЦКРК в тех или иных сетях или их частях, например в междугородной или местной сети.

Классы систем цифровых кроссовых коммутаторов. В настоящее время многие фирмы разработали для коммерческой эксплуатации или в виде опытных образцов оборудование сетей передачи с СЦД, удовлетворяющее требованиям МККТТ — ныне сектора по стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) — Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union (ITU-T).

Устройства кроссовой коммутации в зависимости от их применения подразделяются на три класса:

- системы кроссовых коммутаторов (СКРК) — Crossconnect (CC),
- мультиплексоры с КРК (МКРК) — Crossconnect Multiplexers (CCM),
- мультиплексоры с выделением и кроссовой коммутацией отдельных каналов (МВК) — add/drop Multiplexers (ADM).

Модульность этих устройств позволяет на их основе построить то или иное оборудование, ориентированное на определенное применение.

Кроссовые коммутаторы представляют собой электронные переключатели, обеспечивающие взаимосвязь интерфейсов одного и того же уровня иерархии без изменения переключаемого (коммутируемого) сигнала.

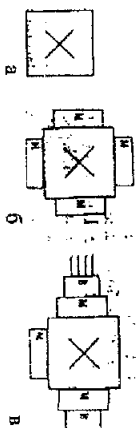


Рис. 1.11. Классы устройства кроссовой коммутации

Примеры цифровых кроссовых коммутаторов. Фирмой «Сименс» разработана система СКРК [43], (рис. 1.11), включающая:

- высокоскоростной КРК — CC155 (рис. 1.11, а) для применения, например, на междугородной сети;
- мультиплексоры с КРК (МКРК) — ССМ2 и РN64 (рис. 1.11, в), которые могут использоваться на местных сетях для взаимосвязи станций;
- мультиплексоры с выделением и кроссовой коммутацией отдельных каналов (МВК) — SLA4D/I, SLA16D/I (рис. 1.11, б), которые применяются на местных сетях в частности на станциях, к которым подключены отдельные пользователи.

Все эти устройства позволяют осуществлять реконфигурацию структуры сети при изменении степени взаимодействия между различными удаленными объектами (узлами коммутации — УК, абонентами, частными сетями и др.) или введении новых УК и станций, а также при необходимости обеспечения высокой устойчивости связи, в частности, на высокоскоростных направлениях, которая может достигать вероятности сохранения установленных соединений до 99,99 % [43] путем быстрого переключения потоков сигналов с поврежденных каналов на исправные.

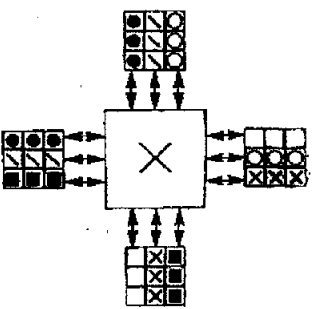


Рис. 1.12. Кроссовая коммутация потоков

Система **СС155** является примером простейшего КрК, который переключает (коммутрует) потоки как синхронных 155-Мбит/с, так и асинхронных 140 бит/с сигналов (рис. 1.12), в связи с чем он может использоваться и как шлюз между сетями с ПЦИ и с СЦИ на четвертом уровне иерархии. В КрК СС155 допускается до 1024 интерфейсов. По определению МККГТ, КрК СС155 соответствует верхнему уровню ЦКрК (тип 1).

Система **МКрК** (см. рис. 1.11,б) функционально является более сложной системой, чем система КрК, так как выполняет еще и функцию мультиплексирования. Сочетание функций кроссовой коммутации и мультиплексирования позволяет выполнять и ряд других функций: функции концентрации и разделения потоков сигналов (рис. 1.13,а), а также упорядочения (рис. 1.13,б) цифровых сигналов по направлениям и каналам на основе определенных критериев, в том числе по качеству передачи, степени необходимой защиты, типу среды передачи (ВОЛС или радиоканал), виду сети (сеть общего пользования или частная сеть).

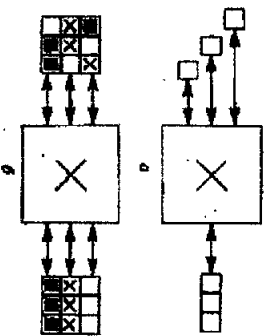


Рис. 1.13. Кроссовая коммутация с мультиплексированием

Фирма «Сименс» производит два типа МКРК [43]: ССМ2 и РН64. МКРК типа ССМ2 может переключать потоки сигналов с 16384 интерфейсами (всего может быть до 65536 интерфейсов) со скоростью 2 Мбит/с, но может переключать потоки сигналов со скоростью 34, 140, 155 Мбит/с. По определению МККСТ, ССМ2 относится к ЦКРК типа II.

МКРК типа РН64 является достаточно компактным устройством для переключения (коммутации) потоков сигналов со скоростью 64 кбит/с. Данный МКРК может быть оборудован до 256 2-Мбит/с интерфейсами, а также до 32 64-Мбит/с интерфейсами в сочетании с 64 2-Мбит/с портами.

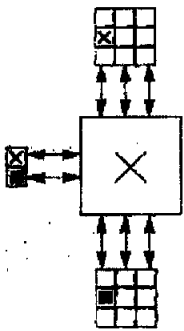


Рис. 1.14. Принципы выделения одного сигнала со скоростью передачи 2 Мбит/с

Система МВК является наиболеешим мультиплексором с КРК, содержащим от двух до четырех интегральных интерфейсов высокоскоростных линий. Заметим, что на сетях с ПЦИ необходимо осуществлять преобразование всей иерархии цифровых сигналов в случае выделения отдельного канала из высокоскоростной линии. В синхронном мультиплексоре возможно осуществить доступ непосредственно к 2-Мбит/с сигналу без демultipлексирования всего транспортного сигнала, т.е. сигнала, образованного всеми уровнями иерархии (рис. 1.14).

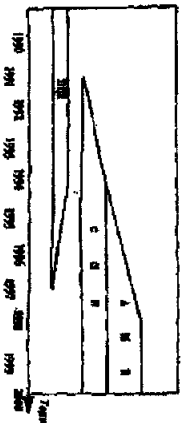


Рис. 1.15. График замены системы ПЦИ на ПЦИ и АМП

Фирмой «Сименс» для этих целей разработан МВК АДМХ2/155 [43] с двумя интерфейсами линий со скоростью передачи 155 Мбит/с и 64 интерфейсами доступа для скорости передачи 2 Мбит/с.

Взаимосвязь плезиохронной и синхронной цифровой иерархии. В связи с тем, что ПЦИ еще находится в эксплуатации и ее замена на ПЦИ будет производиться поэтапно, необходимо иметь систему взаимосвязи ПЦИ и СЦИ, включающую систему управления сетью передачи (СУСП) — Transmission Network Management (TNM) [46], являющуюся составной частью системы управления электросвязи (СУЭ).

—Telecommunication Management Network (TMN).

На рис. 1.15 представлен график замены системы ПЦИ и введения в эксплуатацию США. Кроме того, так как наибольшее преимущество США имеет при использовании асинхронного метода передачи (AMPT) — Asynchronous Transfer Mode (ATM), здесь показан также график введения на сетях AMPT [47].

1.3. АСИНХРОННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ

При синхронных методах (режимах) передачи сигналов требуется осуществлять синхронизацию циклов дискретизации (кадров), временных каналов в пределах цикла и импульсов в пределах временного канала на всем тракте передачи между его исходными и входящим УК (УКИ и УКВ) через имеющиеся в тракте транзитные УКтр.

В отличие от синхронного при асинхронном методе (режиме) передачи сигнала необходимо обеспечить синхронизацию импульсов (побитовая синхронизация), передаваемых только между соседними объектами, (узлами коммутации или абонентской системой и узлом коммутации, т.е. объектами, непосредственно соединенными линией связи).

В узле коммутаций полученные импульсы группируются в определенные блоки, которые хранятся некоторое время в запоминающем устройстве (ЗУ)Ук, а затем поимпульсно передаются по исходящему каналу в следующий УК. При этом скорости передачи во входящем и исходящем каналах могут и не совпадать.

Среди асинхронных методов передачи сигнала в современных цифровых сетях связи наиболее распространение получили два метода: метод передачи пакетов с модификациями, используемых в сетях коммутации пакетов, и асинхронный метод передачи.

Метод передачи пакетов (рис. 1.16). Все двоичные разряды (биты), представляющие *дискретное сообщение* (а), разбиваются на *блоки* (Бл), размер которых не превышает некоторой величины (б); каждому блоку присписывается *заголовок* (з), содержащий адреса источника и потребителя информации, указание на принадлежность блока данному сообщению, проверочный или исправляющий код и т.д. (в). Блок сообщения вместе с заголовком называется *пакетом* - П (з). В свою очередь, пакеты оформляются в виде кадра, именного своей заголовком.

