

Модуль 1

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (ТС), СИГНАЛЫ И КАНАЛЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Лекция 1. Каналы, тракты, системы и сети передачи информации

ТС предназначены для передачи информации. Для начала сформулируем некоторые определения:

Информация – совокупность сведений, данных, знаний о каких-либо процессах, явлениях, объектах и т.п., способных храниться, передаваться и преобразовываться для деятельности человека.

Носителем информации является сообщение, которое, в свою очередь, преобразуется в первичный электрический сигнал $U(t)$. Передача сообщения схематично представлена на рисунке 1.1, где $S(t)$ – электрический сигнал, удобный для передачи по линии связи, а $n(t)$ – помехи и шумы [1].

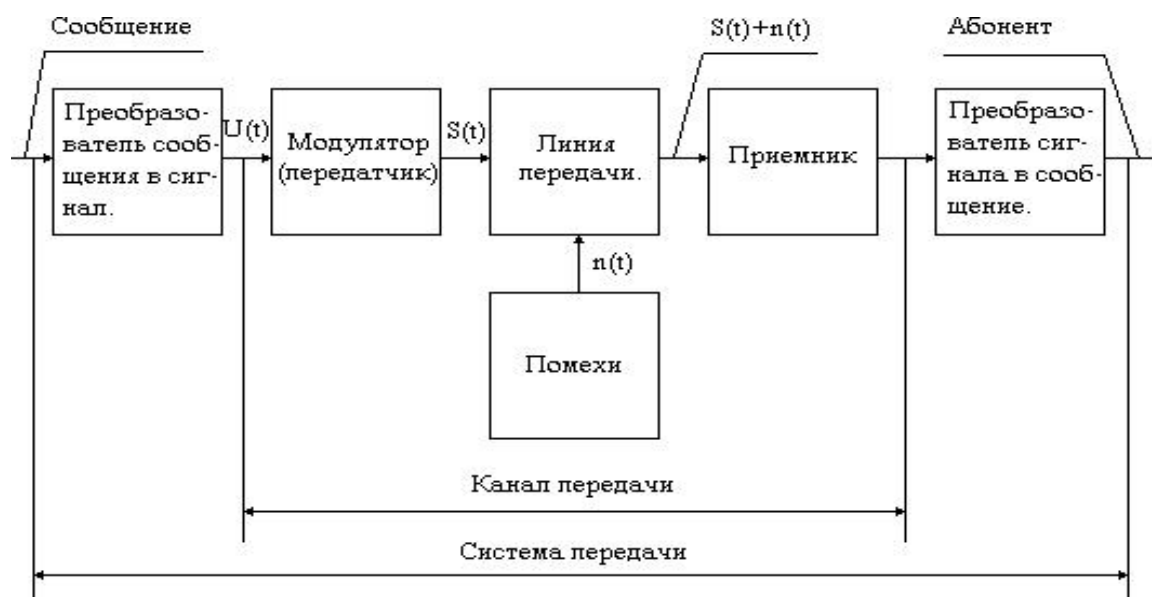


Рисунок 1.1 – Структура системы передачи

Линия передачи – физическая среда распространения электромагнитных волн, несущих сообщение. После прохождения линии передачи сигнал испытывает обратное преобразование. В качестве линии передачи используются разные виды кабелей. На сегодняшний день одними из самых популярных являются витая пара и оптоволокно. Также довольно широко используются радиорелейные, спутниковые линии связи, WI-FI радиоканалы и др.

Канал передачи начинается и оканчивается у абонентов, но не включает в себя оконечные терминальные устройства.

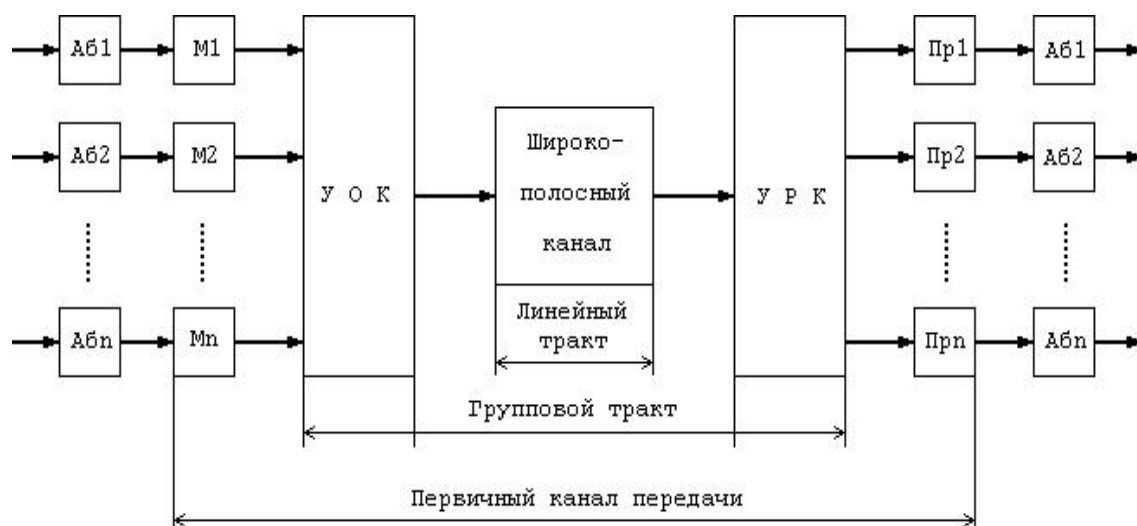
Система передачи – канал передачи вместе с оконечными устройствами. Рассмотренный канал передачи является двухточечным и односторонним, т.е. передача сообщений осуществляется в одну сторону.

Если источник и приемник поочередно меняются местами, то для обмена сигналами необходимо использовать двухсторонний канал связи, допускающий передачу как в одну, так и в другую сторону. Наиболее эффективный способ передачи – это

организация двух встречных каналов, работающих одновременно. Такой спаренный канал называется дуплексным.

Компромиссный вариант – полудуплексный режим: для достижения двухсторонней передачи используется один канал, два приемника и два передатчика, включаемые попеременно [2].

Обычно на практике используются многоканальные системы передачи (МСП). С их помощью мы можем передавать несколько сообщений одновременно по одному каналу. На рисунке 1.2 представлена обобщенная структурная схема МСП [2].



$Абi$ – абонент; $Мi$ – преобразующие устройства (модуляторы);

УОК – устройство объединения каналов; УРК – устройство разделения каналов; $Прi$ – преобразующие устройства (демодуляторы)

Рисунок 1.2 – Многоканальная система передачи

В МСП первичные сигналы, поступающие от абонента, преобразуются модуляторами ($Мi$). Полученные сигналы называются канальными сигналами. УОК объединяет канальные сигналы в так называемый групповой сигнал.

В настоящее время в телекоммуникационных системах используют частотное разделение каналов (ЧРК), временное (ВРК) и кодовое (КРК).

При ЧРК каждому каналу соответствует своя полоса частот Δf_i (рисунок 1.3). Обычно все Δf_i равны, хотя может быть и не так. Все канальные сигналы в группе генерируются одновременно. Для того чтобы подчеркнуть, что форма спектра канальных сигналов несимметрична и при объединении и разделении каналов спектр может быть инвертирован (зеркально отражен относительно f_i), на рисунке 1.3 они изображены в виде «пилообразных треугольников». Роль преобразующих устройств в системе с ЧРК играют преобразователи частоты (смесители), а в качестве УОК применяется сумматор и передатчик (усилитель мощности). В качестве УРК используется система полосовых фильтров, настроенных на f_i . Выделенные канальные сигналы преобразуются в первичные с помощью детекторов.

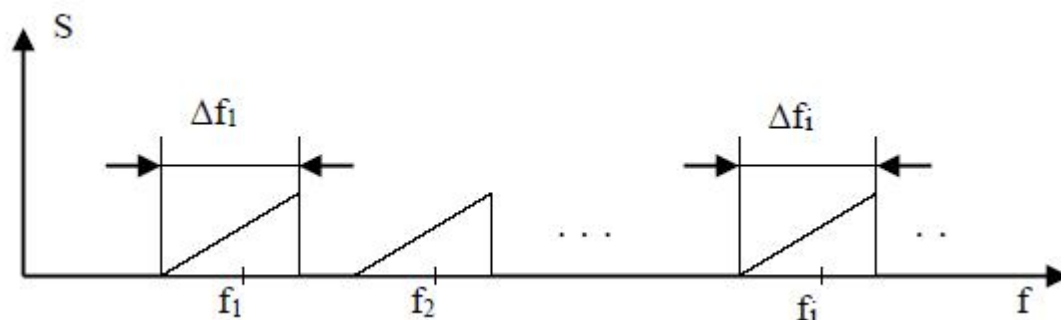


Рисунок 1.3 – Частотное разделение каналов

При ВРК из первичных сигналов делаются дискретные выборки с шагом дискретизации τ_d . Моменты дискретизации для соседних первичных сигналов сдвинуты на время τ_k . При этом за время τ_d можно передать $N = \tau_d / \tau_k$ дискретных сигналов (рисунок 1.4).

Здесь все сигналы группы передаются в одной полосе частот, но в разные моменты времени. Устройства объединения и разделения каналов в этом случае будут соответственно мультиплексор и демультиплексор.

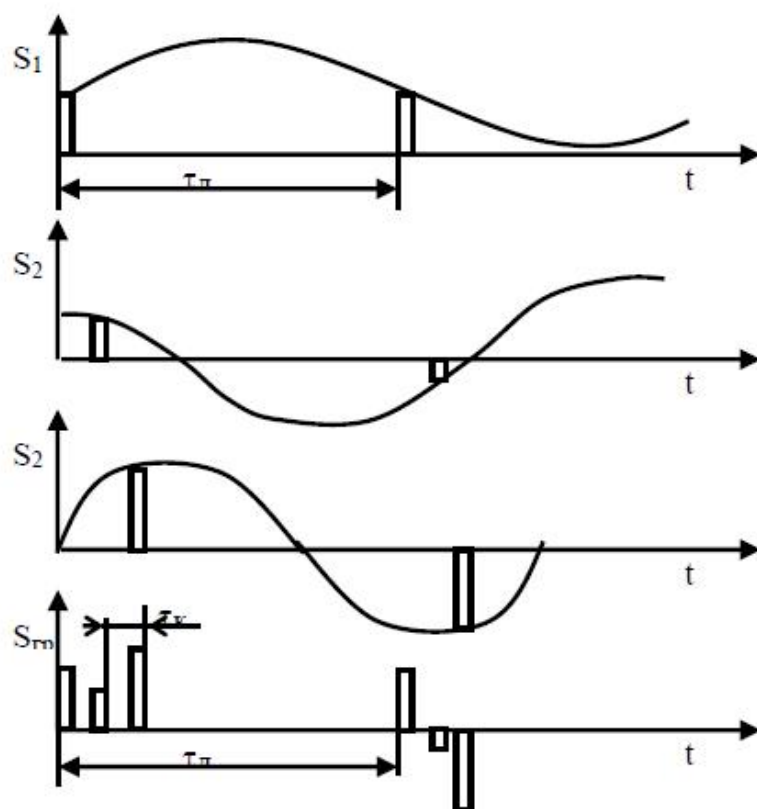


Рисунок 1.4 – Временное разделение каналов

При КРК все первичные сигналы преобразуются в цифровой код и символы этого кода передаются одновременно и в одной и той же полосе частот. Различение первичных сигналов осуществляется за счет внутреннего кодирования каждого символа (рисунок

1.5) с помощью специального кодера. На приемном конце каждому каналу соответствует свой коррелятор или согласованный фильтр [4].

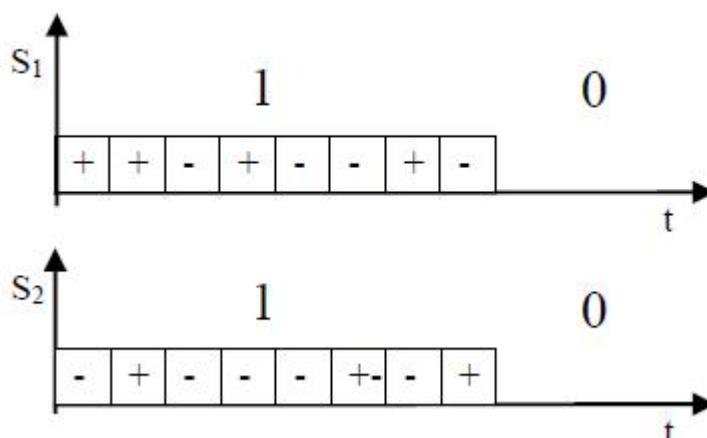


Рисунок 1.5 – Кодовое разделение каналов

Поскольку база такого сигнала V (число импульсов внутри символа) должна быть большой, порядка 100, то спектр сигнала при сохранении скорости передачи расширяется в V раз. Поэтому сигналы при КРК называют также широкополосными или шумоподобными.

Рассмотрим процедуру обмена данными между абонентами. Информацию нужно не только передавать, но и распределять. Система, распределяющая информацию, называется сетью связи или сетью передачи информации.

На рисунке 1.6 показаны примеры сетей с постоянными соединениями (некоммутируемые сети). Все эти сети непригодны для большого числа пользователей, так как имеют следующие недостатки:

- связь во всей сети с общей шиной нарушается с обрывом «шинного» кабеля в любом месте;
- при соединении «звезда» слабым местом является центр коммутации;
- соединение «кольцо» трудно осуществить для большого числа узлов из-за трудностей с прокладкой кабеля;
- полносвязная сеть достаточно дорога, т.к. требует много межсоединений.

Поэтому обычно используют системы с временными соединениями (на время связи) через узлы коммутации. Узлы коммутации связаны соединительными линиями с высокой пропускной способностью (рисунок 1.7).

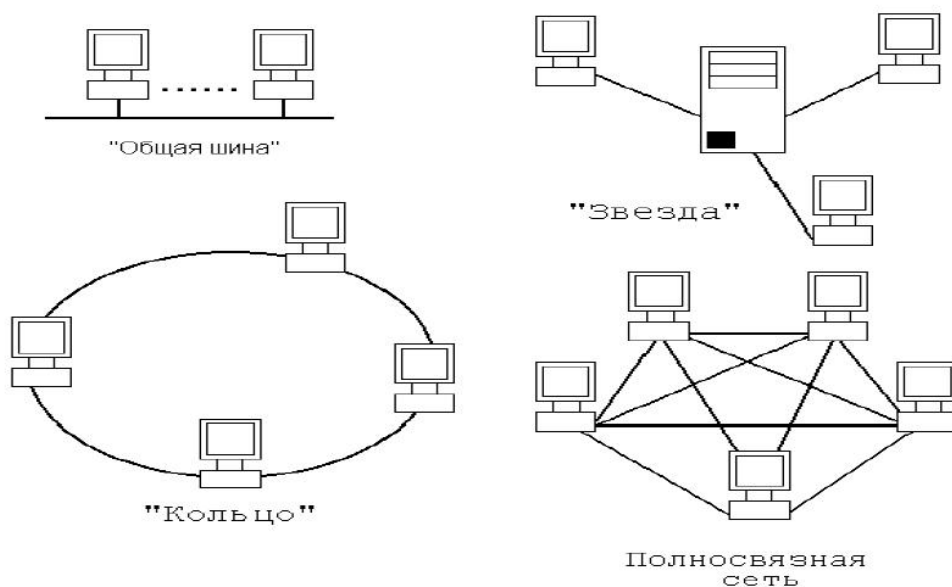


Рисунок 1.6 – Примеры некоммутируемых сетей

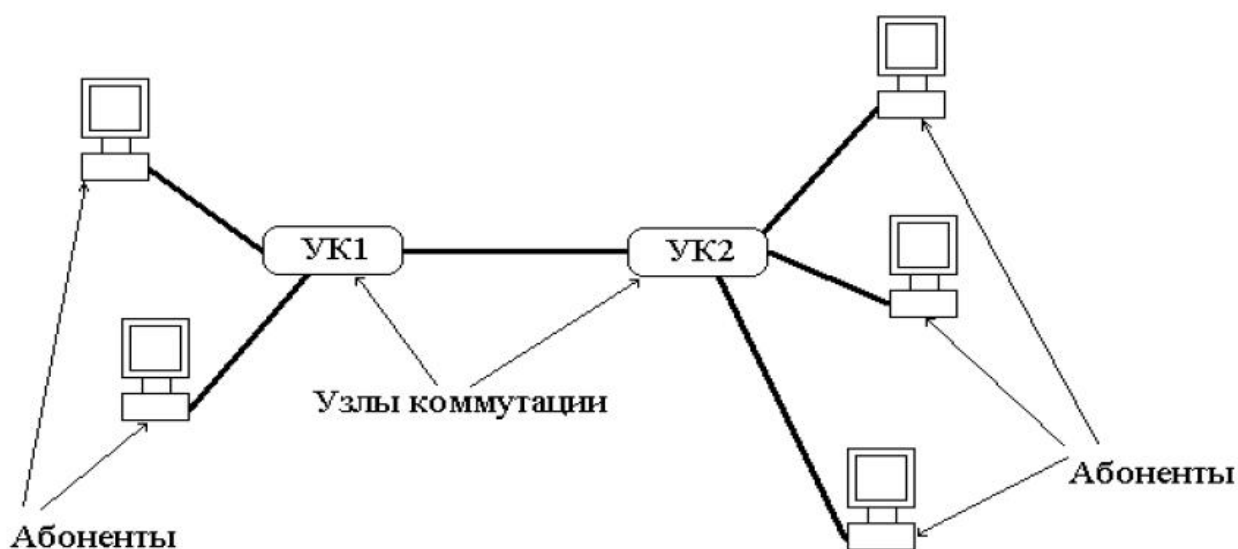


Рисунок 1.7 – Соединение через узлы коммутации

По запросу абонента некоторого УК методом переключения создают первичные каналы передачи между любыми абонентами каждого из узлов через соединительные линии.

Отличие такого соединения от группового тракта: в пределах группы передаваемых по соединительным линиям сообщений первичные каналы постоянно меняются [6].

Лекция 2. Основные принципы построения телекоммуникационных сетей

Телекоммуникационные сети разделяются по следующим признакам:

Функциональные признаки:

а) Сеть передачи (транспортная сеть, первичная сеть) – основа для оказания и распределения услуг. В сеть передачи входят:

- системы передачи;
- сетевые узлы – комплексы технических и программных средств, которые образуют долговременные (некоммутируемые) соединения групповых трактов и каналов;
- сетевые станции – сетевые узлы, в которых осуществляется распределение каналов и групповых трактов между вторичными сетями.

б) Вторичные сети – сети связи, коммутируемые и некоммутируемые, распределяющие информацию по службам и абонентам.

Эти сети существуют на основе транспортных сетей и отличаются друг от друга способом распределения.

Вторичные сети делятся:

- на телефонные;
- на сети передачи данных;
- на сети телерадиовещания и т.п.

Каждая вторичная сеть нацелена на конкретную услугу (конкретные виды сервиса). Но каждая служба и вторичная сеть могут предоставлять дополнительные услуги. Например, телефонная сеть – услуги Интернет, сеть передачи данных – услуги IP-телефонии [14].

в) Служба электрической связи – комплекс аппаратно-программных средств, предоставляющий услуги связи. Службы – системы связи третьего уровня.

г) Сети управления телекоммуникациями (TMN) . Эти сети предназначены для решения следующих задач:

- управление конфигурацией сети, что предполагает непосредственный и удаленный доступ администраторов сети к формированию и развитию ее структуры, подключению и отключению региональных операторов и других пользователей и развитие услуг связи;
- управление неисправностями, предполагающее контроль состояния сети, обнаружение и локализацию неисправностей и их устранение, оповещение пользователей о проводимых работах;
- управление качеством связи;
- управление расчетами за услуги связи;
- управление безопасностью: защита от несанкционированного доступа в сеть на уровне баз данных и системы управления, соблюдение конфиденциальности при предоставлении данных.

Иерархические признаки (территориальные):

По степени охвата пользователей телекоммуникационные системы разделяются следующим образом:

а) Глобальные – охватывают весь мир или значительную его часть. Примерами глобальных сетей являются всемирная телефонная сеть общего пользования, сеть передачи данных Интернет, сотовая сеть стандарта GSM и др.

б) Сети отдельных государств. Эти сети охватывают территории отдельных государств и включают в себя всю совокупность телекоммуникационных систем: транспортные и вторичные сети, сети доступа и службы электросвязи, сети управления связью.

в) Зоновые первичные сети – это сети областного, краевого или республиканского значения. Они распределяют телекоммуникационные потоки из магистральной сети к сетям отдельных городов и сельских районов [14].

Лекция 3. Стандартизация телекоммуникационных сетей и систем

Телекоммуникационные сети и системы являются сложными аппаратно-программными комплексами, распределенными на больших территориях и, как правило, состоящие из разнородных составляющих, т.е. включающие в себя оборудование и программное обеспечение различных производителей. Для успешного функционирования они должны быть состыкованы по своим входным и выходным параметрам, должны «понимать друг друга».

С этой целью разработано много стандартов, как мирового, так и государственного уровня. В области телекоммуникаций и компьютерных сетей наиболее полный подход к разработке стандартов проявили две международные организации:

-Международная Организация по Стандартизации (МОС или ISO – International Standartization Organization);

-Международный Союз Электросвязи (МСЭ или ITU – International Telecommunication Union), ранее: Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии (МККТТ).

Эти и другие организации координируют свои усилия в области стандартов. Результатом этой координации явилась разработка эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) (рисунок 1.8), содержащей семь уровней или слоев (таблица 1.1).

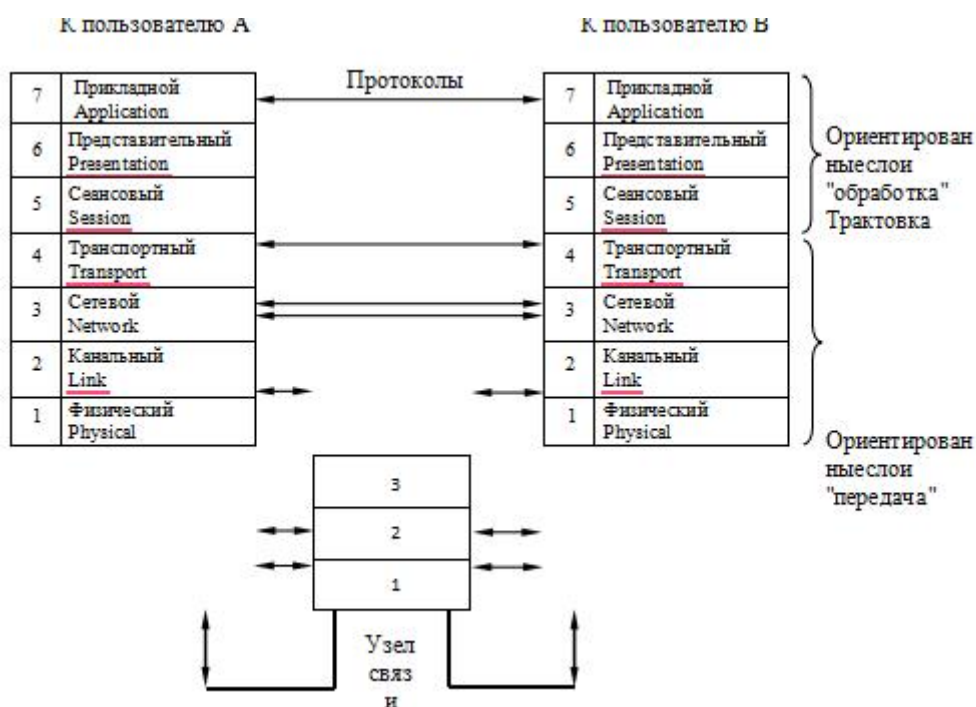


Рисунок 1.8– Эталонная модель ВОС:

уровни 1 и 2 обеспечивают физическое и электрическое соединение двух абонентов в режиме точка-точка; уровень 3 избирает соединение (выбирает маршрут) в системе узлов; уровень 4 избирает тип сервиса передачи (качество передачи, безопасность и др); уровни 5 – 7 относятся к пользователю и его прикладным процессам

Таблица 1.1 Функции, выполняемые уровнями

7	Прикладной	Интерфейс с прикладными программами. Передача, доступ и управление формами. Обмен сообщениями и документами (например, электронная почта). Передача и манипулирование задачами.
6	Представительный	Взаимная конверсия различных синтаксисов. Разработано несколько форм абстрактного синтаксиса данных для их использования совместно с синтаксисом передачи (конкретным синтаксисом) прикладными элементами. Формирование данных (коды, алфавит, графика).
5	Сеансовый	Организация и проведение сеансов взаимодействия между прикладными процессами.
4	Транспортный	Сквозной через КС (коммуникационную систему) обмен данными между системами. Управление соединением, сетевой сервис (управление качеством передач), управление ошибками, фрагментация, управление потоком.
3	Сетевой	Сетевая маршрутизация, адресация, обнаружение ошибок. Сегментирование и объединение блоков данных
2	Канальный	Установление и подтверждение соединений. Управление каналами (кадрирование, прозрачность данных). Управление ошибками в каналах (проверка четности или контрольных сумм).
1	Физический	Обеспечение физического и механического интерфейсов сети. Протоколы модуляции и линейного кодирования.

В рамках данного учебного пособия наибольший интерес представляют нижние 3 уровня. Отметим наиболее существенные их свойства. Физический уровень задает взаимодействие терминальных абонентских устройств со средой передачи и в том числе тип линии связи, скорость передачи, волновое сопротивление, амплитуду и мощность сигнала, длительность импульса, законы кодирования и модуляции и т.д. Например, для телефонных каналов механическим интерфейсом является конструкция разъема, электрическим интерфейсом являются параметры канала тональной частоты: частотный диапазон 0,3-3,4 кГц, волновое сопротивление 600 Ом, входная мощность 1мВт. Для компьютерных сетей механический интерфейс так же определяется соответствующим разъемом, а электрический соответствующими стандартами Ethernet, RC485 и т.д. Основное назначение канального уровня – передача сигнала по существующему каналу связи в режиме «точка-точка». Например, при телефонной связи эта процедура составляет последовательность снятия трубки, ответ станции, набор номера, ответ вызываемого абонента при этом канал связи организован. Для сетей передачи (ЛВС) данных канальный уровень для двух абонентов организуется с помощью MAC адресов. При этом передающая сторона посылает пакет, в котором содержится MAC адрес принимающей стороны. Когда этот пакет доходит до принимающей стороны сетевая карта приемника этот пакет опознает, выделяет его и принимает полученную информацию. Здесь канал организуется каждый раз при получении очередного пакета. Основная функция сетевого уровня – организация сквозного канала в распределенной системе, состоящей из множества узлов (прокладка маршрута).

В качестве примера рассмотрим протокольный стек глобальной сети общего

пользования стандарта TCP/IP (рисунок 1.9).

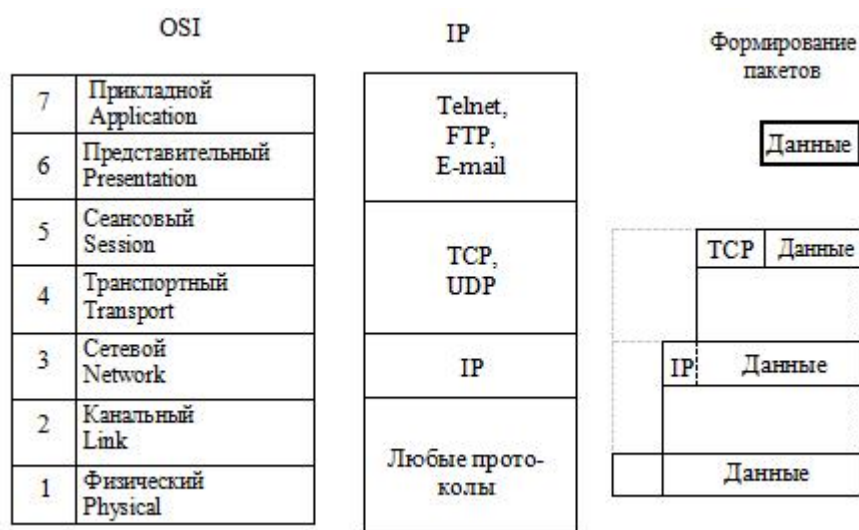


Рисунок 1.9 – Стек протоколов TCP/IP

В стеке TCP/IP используются следующие протоколы:

- 1) Telnet – протокол эмуляции терминала;
- 2) FTP – протокол передачи файлов;
- 3) TCP – протокол управления передачей, обеспечивает сервис надежной доставки информации;
- 4) UDP – пользовательский дейтаграмный протокол, обеспечивает негарантированную доставку пакетов без установления соединения между клиентами, но с большей скоростью, чем протокол TCP;
- 5) IP межсетевой протокол, обеспечивает доставку через узлы. Как видим, в конкретном стеке протоколов функции некоторых уровней объединены и их число не равно 7. TCP/IP начинает работать только с третьего уровня. При переходе информации с уровня на уровень она снабжается дополнительным заголовком, несущим служебную информацию. Покажем структуру заголовка IP – дейтаграммы (в битах) в таблице 1.2.

Таблица 1.2 структуру заголовка IP – дейтаграммы.

Версия проток.4	Длина загол. 4	Тип сервиса 8	Общая длина дейтаграммы 16	
Идентификатор накл. 16			Флаг 3	Смещение фрагм. 13
Время жизни 8		Протокол уровня 8	Контрольная сумма 16	
Адрес источника 32				
Адрес назначения 32				
Резерв				
Данные				

«Тип сервиса» включает в себя: приоритеты, задержку, пропускную способность, надежность. Длина пакета может изменяться (до 2^{16}), поэтому она указывается в поле «Общая длина» для облегчения обработки. «Идентификатор» – указывает номер пакета в группе.

«Смещение пакета» – эта операция необходима при формировании из пакетов исходного сообщения. «Время жизни» необходимо для разгрузки коммутационного оборудования. Если пакет не дошел до адресата и «завис» в буфере узла коммутации, то по истечении времени, указанном в соответствующем поле кадра, он просто стирается.

Протокол верхнего уровня – TCP или UDP.

Лекция 4. Сигналы электросвязи

Энергетические характеристики сигналов

К энергетическим характеристикам сигналов относятся абсолютные характеристики: мощность P , напряжение U , ток I и их уровни передачи (логарифмические характеристики) p_m , p_u , p_i . Для измерения мощности чаще всего используются уровни передачи по мощности, измеряемые в децибелах по мощности:

$$p_m = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (1.1)$$

где P_0 – отсчетное значение, P – начало отсчета.

Аналогично для напряжения и тока

$$p_u = 20 \lg \frac{U}{U_0}. \quad (1.2)$$

Измерения мощности характеризуются:

– средним значением

$$P_{\text{ср}} = \frac{\bar{U}^2}{R} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \frac{U^2}{R} dt, \quad (1.3)$$

где R – сопротивление нагрузки, T – интервал усреднения;

– максимальным значением P_{max} . Поскольку электрический сигнал – это случайный сигнал, то для определения максимального значения вводится понятие P_{max} – мощность гармонического сигнала с амплитудой U_m , которая превышает мгновенное значение переменной составляющей исследуемого сигнала с определенной достаточно малой вероятностью ϵ ;

– минимальной мощностью P_{min} . Чаще всего за P_{min} берут значение среднеквадратической ошибки при приеме сигнала. Эта величина определяется помехой, так что:

$$P_{\text{min}} \approx P_{\text{пом}}. \quad (1.4)$$

Наряду с прямыми характеристиками мощности часто используют их производные:

– пик–фактор

$$П = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\text{cp}}} ; \quad (1.5)$$

– динамический диапазон

$$Д = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}} ; \quad (1.6)$$

– защищенность сигнала

$$A_z = 10 \lg \frac{P_{\text{cp}}}{P_{\min}} . \quad (1.7)$$

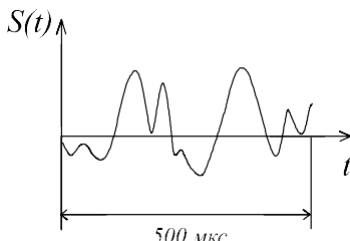
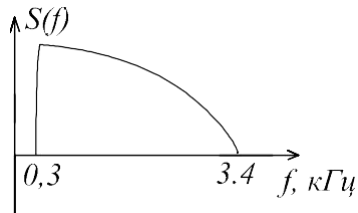
Защищенность A_z определяет уровень отношения сигнал–помеха.

Временные и спектральные характеристики первичных сигналов электросвязи

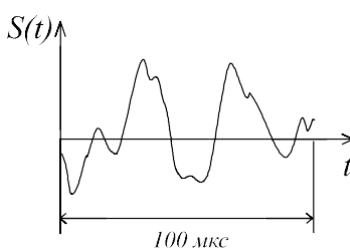
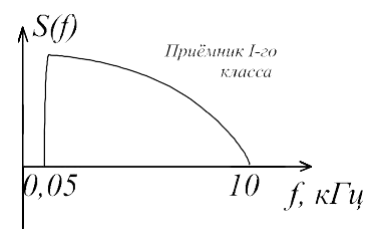
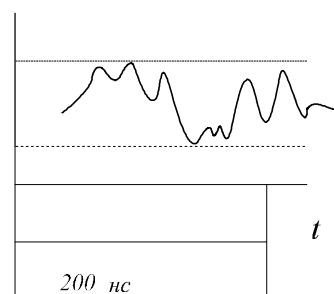
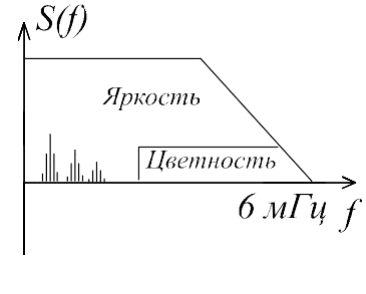
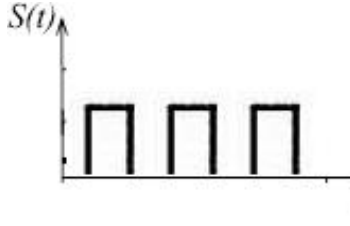
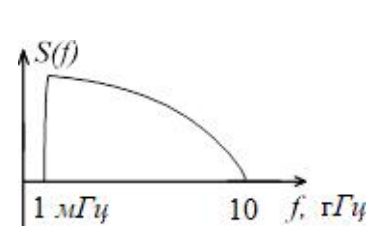
Временные и спектральные характеристики первичных сигналов электросвязи связаны с его формой. Для основных типов сигналов электросвязи они приведены в таблице 1.3 [5].

Часто вместо временных и спектральных характеристик используют параметры сигналов: длительность T_c и ширина спектра ΔF_c

Таблица 1.3 – Временные и спектральные характеристики первичных сигналов электросвязи

Сигнал	Временная характеристика (форма сигнала)	Огибающая спектра
1	2	3
Речевой (телефон)		

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3
Вещательный		
Телевизионный		
Передача данных		

Параметры сигнала с точки зрения его передачи по каналу связи

Основными параметрами аналогового сигнала с точки зрения его передачи по каналу связи являются:

- длительность сигнала T_c ;
- ширина спектра ΔF_c ;
- динамический диапазон D_c .

Длительность сигнала T_c определяет интервал времени, в течение которого существует сигнал.

Ширина спектра ΔF_c характеризует скорость изменения сигнала внутри интервала существования.

Для общей характеристики аналогового сигнала вводят физический «объем» сигнала V_c :

$$V_c = T_c \cdot \Delta F_c \cdot D_c. \quad (1.8)$$

Для описания канала связи также можно использовать три характеристики:

- время действия канала T_k ;
- полосу пропускания канала ΔF_k ;
- динамический диапазон D_k , зависящий от чувствительности (P_{min}) и от

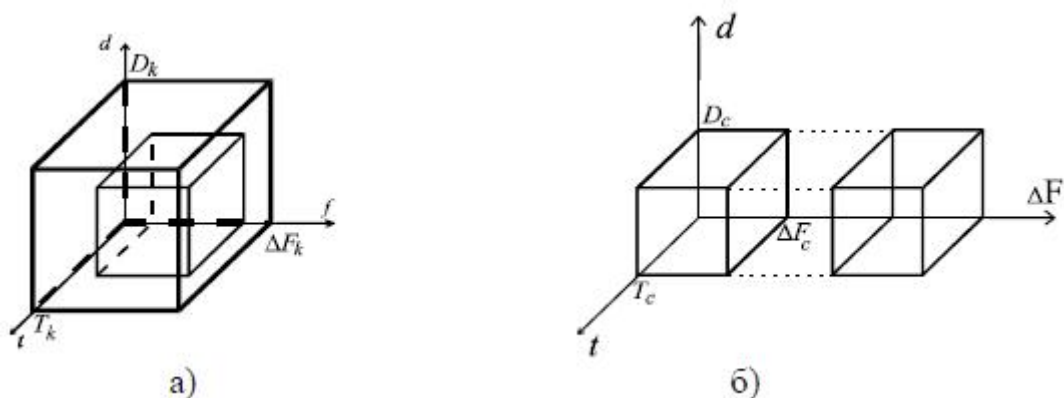
максимальных нагрузок ($P_{\max}$);

– тогда емкость канала V_k .

$$V_k = T_k \cdot \Delta F_k \cdot D_k. \quad (1.9)$$

Необходимое условие передачи сигнала очевидно $V_c < V_k$. В простейшем случае $T_c < T_k$, $\Delta F_c < \Delta F_k$, $D_c < D_k$.

Геометрическая интерпретация объектов информации сигнала и канала, и преобразование при модуляции даны на рисунке 1.10.



- а) согласование объемов сигнала и канала связи;
б) преобразование основных характеристик сигнала

Рисунок 1.10 – Геометрические образы:

Для общей характеристики цифровых сигналов вместо физического «объема» применяют количество информации I_c .

Цифровым сигналом называется дискретная во времени случайная комбинация двух и более (2, 4, 8, ...) разрешенных уровней l .

Дискретизация во времени осуществляется с тактовым интервалом T_t и соответственно с тактовой частотой

$$F_T = \frac{1}{T_T}. \quad (1.10)$$

Количество информации цифрового сигнала I_c определяется следующим образом:

$$I_c = F_T \cdot \log_2 l \text{ (бит)}. \quad (1.11)$$

Здесь F_T – тактовая частота, l – число разрешенных уровней (например, 2 – «0» и «1»).

Чтобы оценить информационное содержание аналогового сигнала, следует учитывать два обстоятельства:

1. Тактовая частота в два раза больше максимальной частоты сигнала F_m (согласно теореме Котельникова) [7]:

$$F_T = 2 \cdot F_m. \quad (1.12)$$

2. Количество разрешенных уровней зависит от отношения средней мощности сигнала P_c к средней мощности шума $P_{ш}$.

$$l = \sqrt{1 + \frac{P_c}{P_{ш}}} = \sqrt{\frac{P_c + P_{ш}}{P_{ш}}} . \quad (1.13)$$

Тогда количество информации в аналоговом сигнале, условно преобразованном в цифровой, будет:

$$I_A = 2 \cdot F_m \cdot \frac{1}{2} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right) = F_m \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right) . \quad (1.14)$$

Лекция 5. Каналы связи

Каналом передачи называется последовательное включение каналообразующего оборудования и линии связи. К каналообразующему оборудованию относятся модемы, передатчики и приемники, мультиплексоры и другие устройства. Различают аналоговые и цифровые каналы передачи по типу передаваемых сигналов [7].

Основные характеристики аналоговых сигналов точно такие же, как и характеристики четырехполюсников:

- входное сопротивление и коэффициент отражения;
- уровни сигналов на входе и выходе, остаточное затухание;
- частотная характеристика затухания, верхняя и нижняя частоты полосы пропускания;
- нелинейные искажения;
- помехозащищенность.

К важнейшим характеристикам цифровых каналов относятся:

- пропускная способность;
- помехозащищенность;
- полоса частот.

Как правило, в системах связи используются типовые каналы, в которых основные параметры и характеристики нормализованы.

Нормализованное число типовых каналов образуют групповые тракты, которые могут быть аналоговыми или цифровыми.

Рассмотрим далее основные типовые каналы и тракты.

1. *Канал тональной частоты (ТЧ)* является основным в аналоговой телефонии. Он сосредоточен в частотном диапазоне 0.3 – 3.4 кГц. Входное и выходное сопротивления равны 600 Ом. Измерительные уровни КТЧ приведены на рисунке 2.3 во всех характерных точках. На входе канала максимальная мощность составляет 1 мВт (точка нулевого относительного уровня – ТНОУ). Для среднестатистического абонента пик-фактор телефонного сигнала $\Pi = P_{max}/P_{ср}$ составляет 15–16 дБ, поэтому средняя мощность сигнала – 32 мкВт [10].

Уровень мощности помехи в ТНОУ по нормам для самого протяженного канала на должен превышать значения – 40 дБм, а защищенность канала $A_z = 25$ дБ. Схема канала ТЧ изображена на рисунке 1.11.

Общие сведения:

- Диапазон частот $\Delta f = 0.3 \div 3.4 \text{ кГц}$;
- Затухание на краях полосы частот $\Delta \alpha = 8,7 \text{ дБ}$;
- Входное сопротивление $R_0 = 600 \text{ Ом}$.

Помехи в канале ТЧ:

- тепловой шум

уровень шума рассчитывается как:

$$P_{\text{ТШ}} = k \cdot T \cdot \Delta f, \quad (1.15)$$

где $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/град}$ – коэффициент Больцмана,

T – температура,

Δf – полоса частот.

– дробовой шум (флуктуационный шум, возникает в активных элементах: усилителях и т.п.).

Коэффициент шума можно характеризовать как отношение мощностей сигнала и помехи на входе к их отношению на выходе:

$$N = \frac{P_{\text{свх}} / P_{\text{пвхср}}}{P_{\text{сввых}} / P_{\text{пввыхср}}} \quad (1.16)$$

Он характеризует возрастание шума за счет активных элементов.

- межканальные помехи, возникают за счет электрических наводок (рисунок 2.2).



Рисунок 1.11– Межканальные помехи

При появлении сигнала в одной паре проводов в другой за счет электромагнитной связи возникает сигнал наводки. Этот сигнал распространяется как в прямом (помеха на дальний конец), так и в обратном (помеха на ближний конец) направлениях.

2. Аналоговые широкополосные каналы Эти каналы реализуются методом ЧРК путем группирования КТЧ:

- 3 канала ТЧ,
- 12 каналов ТЧ,
- 60 каналов ТЧ,
- 300 каналов ТЧ.

Формирование этих каналов будет рассмотрено в разделе 3. В настоящее время технология ЧРК в многопарных электрических кабелях практически вышла из применения [10].

3. Цифровые типовые каналы:

- 64 кбит/с – основной цифровой канал, 2,048 Мбит/с – первичный канал (E1), 8,448 Мбит/с – вторичный канал (E2), 34,368 Мбит/с – троичный канал (E3), 139,264 Мбит/с – четверичный канал (E4);
- 155 Мбит/с – синхронный транспортный модуль STM-1;
- 622 Мбит/с – синхронный транспортный модуль STM-4 и т.д. Их формирование рассматривается в разделе 4 [10].

Лекция 6. Двусторонняя передача

Двусторонняя передача с 4-х проводным окончанием

Два встречных канала одностороннего действия образуют 4-х проводную линию (дву-сторонний канал передачи) (см. рисунок. 1.12. Здесь и далее размерность уровней в дБм0 означает, что абсолютное значение уровня на входе (выходе) отсчитано относительно точки нулевого относительного уровня (ТНОУ). Чаще всего в электросвязи в этой точке номинальное значение мощности равно 1 мВт.



Рисунок 1.12 Четырехпроводная линия

Двусторонняя передача с 2-х проводным окончанием

Такой вид передачи является самым простым и дешевым. Он в массовом порядке используется в абонентских телефонных линиях. Передача сигнала осуществляется по паре проводов, которые протянуты от абонента до АТС. В такой линии передачи нет никаких активных однонаправленных устройств (усилителей). Поэтому в такой системе возможна передача сигналов в обоих направлениях. При этом разговор или передача данных должны вести во времени поочередно, чтобы собеседники не мешали друг другу.

Напротив, при передаче сигналов между АТС (особенно на междугородних линиях) необходимо применение отдельных каналов для двусторонней связи. В настоящее время эти каналы реализуются на базе волоконооптической линии связи и цифровых методов передачи. В точке стыка (на АТС) двухпроводная и четырехпроводная линия должны быть согласованы.

В качестве примера можно рассмотреть канал тональной частоты (ТЧ) (рисунок 1.13), который согласует 2-х проводную линию (Абонент) и 4-х проводную линию

(АТС).

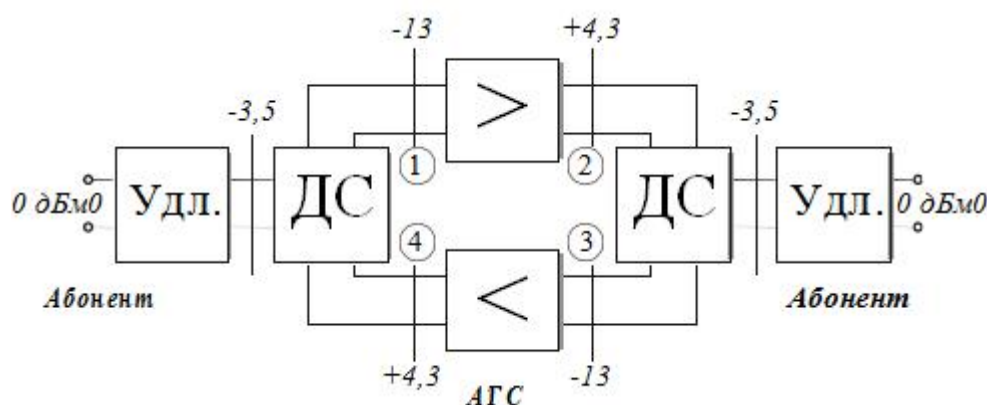


Рисунок 1.13 - Канал тональной частоты

Обратим внимание, что от АТС к абоненту идет 2 провода, а от АТС к другой АТС идут 4 провода (2 на передачу, 2 на прием) таким образом, ДС осуществляет согласование 2хпроводного окончания с 4хпроводным. При этом реализуется режим экономии медного провода на участке абонент-АТС.

На рисунке 1.14 изображена зависимость величины затухания от частоты. Из рисунка видно, что график имеет периодическую зависимость, которая объясняется прохождением частотных составляющих сигнала через усилители и дифференциальные системы с различными фазовыми сдвигами. В точках, где α минимально, наиболее вероятна возможность паразитного самовозбуждения

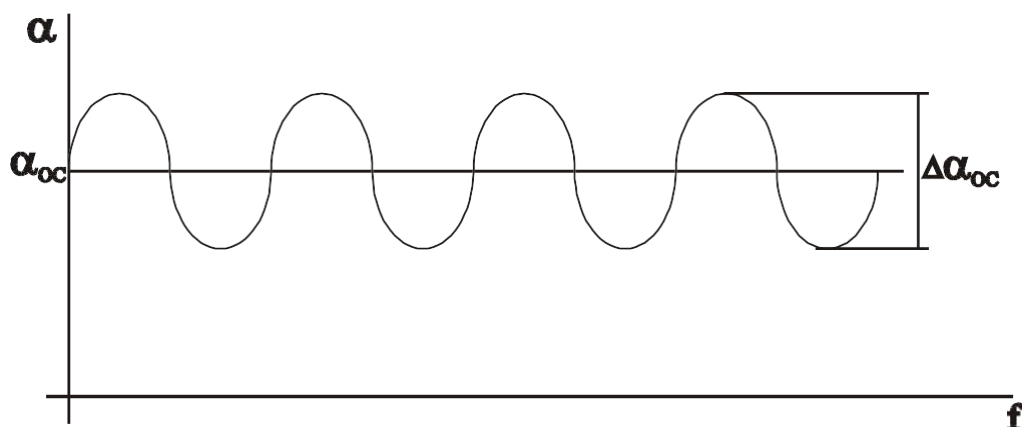


Рисунок 1.14 Частотная зависимость затухания (согласование двухпроводного и четырехпроводного окончания)

В качестве развязывающих устройств в телефонных системах используют дифференциальные системы (рисунок 1.15).

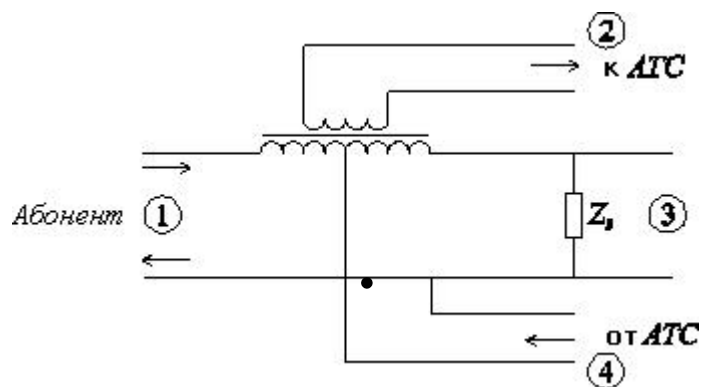


Рисунок 1.15 - Дифференциальная система

Рассмотрим эффект развязки при прохождении сигнала от АТС к абоненту. На первичной обмотке трансформатора относительно средней точки возникают напряжения противоположной полярности. Во вторичной обмотке эти напряжения наводят ЭДС разного знака, которые компенсируют друг друга. Сигнал к приемнику АТС не проходит. Подавление на этом участке должно быть не менее 17,3 дБ. Для устранения отражения от выхода 3 его нагружают сопротивлением Z_3 , согласованным с линией. Таким образом, входы 2 и 4 оказались развязанными. Аналогично доказывается развязка выходов 1 и 3. Удлинитель в канале ТЧ вместе с абонентской линией обеспечивает необходимое затухание – 3,5 дБ, которое нужно для подавления «эхо-сигналов» и эффектов обратной связи. Все дело в том, что абонентские линии, подключенные к дифсистеме, могут иметь существенный разброс по входному сопротивлению. При этом в контуре обратной связи за счет рассогласования возникают большие колебания α . Для их сглаживания и служит удлинитель.