

## Модуль 5 . РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ.

### Лекция 1. Коммутация каналов и коммутация пакетов

При распределении цифровых потоков преимущественно используются две технологии коммутации:

1. Коммутация каналов (КК). Здесь (рисунок 6.1) между двумя абонентами с помощью цифровых коммутационных устройств устанавливается непосредственное физическое соединение по сквозному каналу, проходящему через узлы ABCD. На время этого постоянного соединения весь ресурс первичного канала закрыт для других абонентов. В каждом узле расположен цифровой коммутатор, функции которого сводятся к следующим двум процедурам (рисунке 5.1):

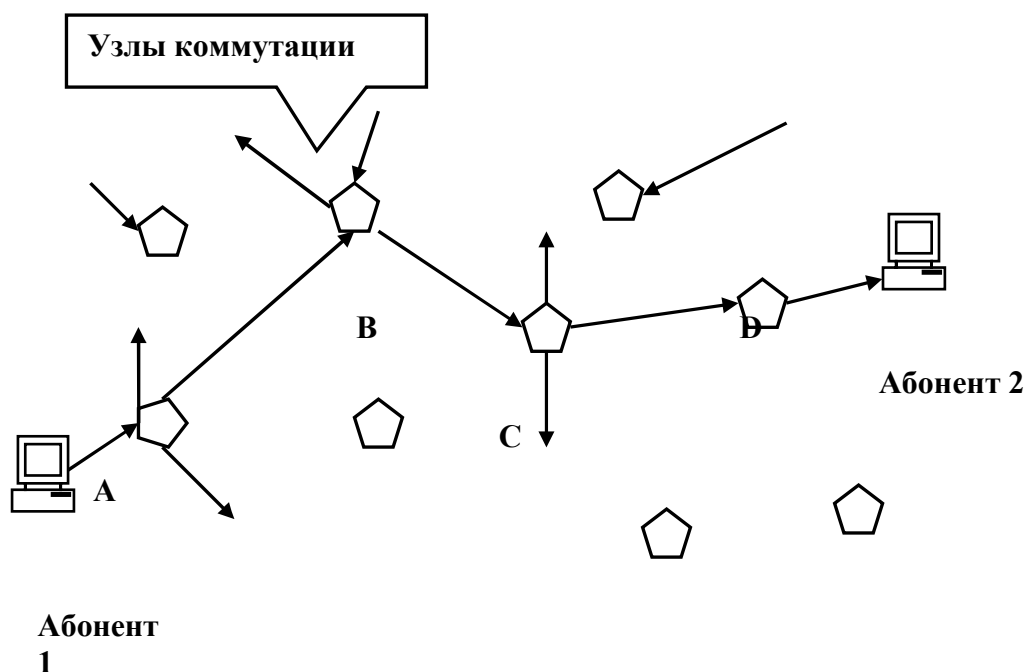


Рисунок 5.1 – Коммутация каналов

- цифровой поток с одного входного порта коммутатора перенаправляется на один из  $M$  выходных портов – случай пространственной коммутации;
- в пределах одного цифрового потока меняется временное положение канальных интервалов. **временная коммутация**

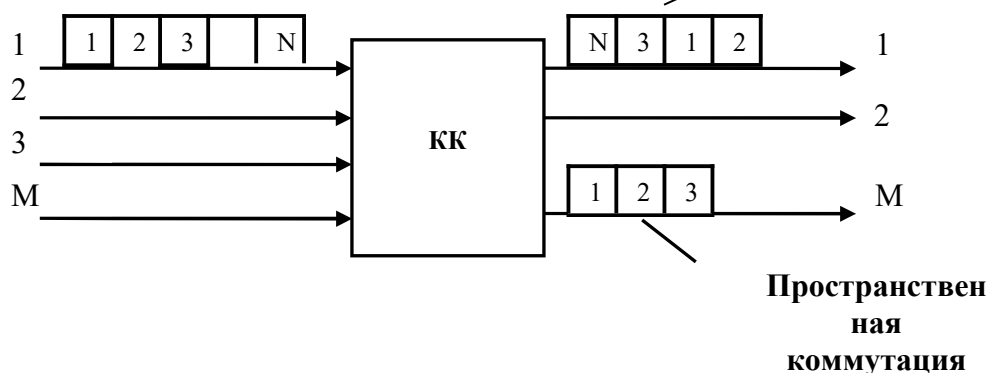


Рисунок 5.2-- Цифровая коммутация

К достоинствам технологии коммутации каналов следует отнести:

- стабильность соединения;
- фиксированная (постоянная) малая задержка сигнала в канале связи, потому что коммутаторы работают с высоким быстродействием. Это способствует высокому качеству передачи информации.

Недостатки способа коммутации каналов:

- низкая загрузка каналов. Поскольку абоненты ведут диалог и занимают дуплексный канал, то 50% времени уходит на то, что один из абонентов молчит, слушая собеседника. Другие потери приходятся на паузы и высокую избыточность речи. Общая загрузка канала составляет 10 – 30%;
- отсутствует возможность многоадресной передачи, когда один абонент может сообщить свою информацию целой группе других абонентов.

2. Коммутация пакетов (КП). Здесь сообщение сначала преобразуется в цифровую форму, а потом разбивается на части. К этой части добавляется заголовок, несущий адресные данные о пункте назначения и другую служебную информацию. Заголовок и информация образуют пакет. Каждый пакет может передаваться самостоятельно, поскольку в его составе содержится адресная информация пункта назначения. Рисунок 5.3 иллюстрирует один из способов коммутации пакетов (дейтаграммный). Здесь пакеты с номерами 1,2,3,4 поступают на узел коммутации А, который записывает данные в буфер, а потом определяет оптимальный (кратчайший) путь ACDB и отправляет по нему пакет 1. При поступлении пакета 2 ситуация в сети может измениться, путь ACDB не обеспечивает быстрого прохождения и узел А отправляет пакет 2 по другому пути (AFDB). К моменту окончания пакета 2 ситуация в сети может восстановиться и пакеты 3,4 снова идут по пути ACDB. Может получиться так, что к узлу В пакеты придут не в той последовательности, в которой были отправлены. Узел В восстанавливает порядок следования пакетов.

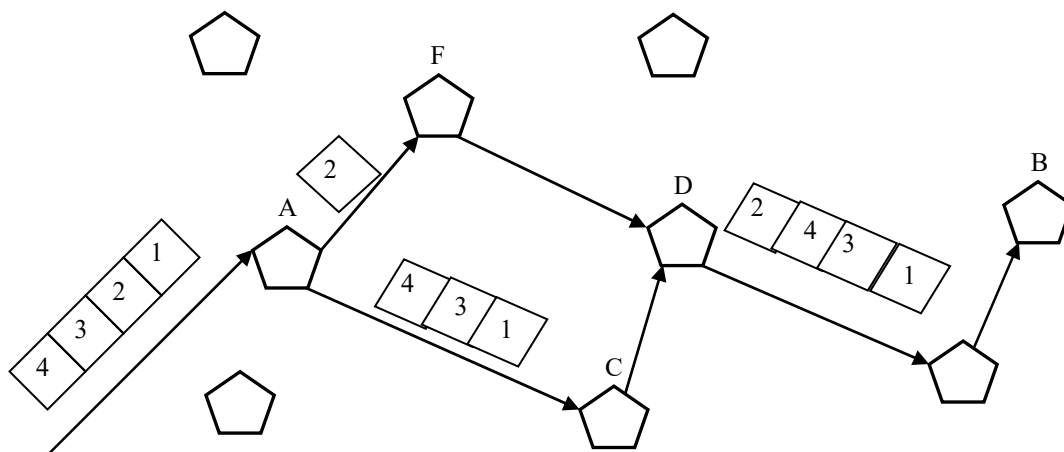


Рисунок 5.3 – Коммутация пакетов

Основные процедуры при передаче пакетов:

- разбиение сообщения на пакеты;
- запись пакетов в узлах;
- маршрутизация пакетов в соседние свободные узлы.

Достоинства технологии коммутации пакетов:

- высокая загрузка канала (до 100%), обеспечивается тем, что любые паузы в сообщении одного абонента могут быть заполнены пакетами информации других абонентов;

–возможность многоадресной передачи, так как в заголовке пакета может содержаться разное количество адресов.

Недостатки способа коммутации пакетов:

–перезапись информации в узлах, что увеличивает задержку передаваемых сигналов;  
–переменная скорость передачи и переменная задержка, что также связано с буферизацией информации, ограниченным объемом памяти запоминающих устройств и с возможностью различных путей распространения информации.

На рисунке 5.4 приведена типичная структура пакета. Он ограничен с двух сторон флагами. Чаще всего это комбинация из восьми бит (например, 01111110). Адресное поле содержит информацию об адресах отправителя и получателя. В поле управления указывается тип пакета, его размер и формат, указания по обработке сигнала и т.п.

|      |       |            |            |                      |      |
|------|-------|------------|------------|----------------------|------|
| флаг | адрес | управление | информация | контрольн<br>ое поле | флаг |
|------|-------|------------|------------|----------------------|------|

Рисунок 5.4 – Структура пакета

В информационном поле передаются непосредственно данные, а контрольное поле предназначено для процедуры обнаружения ошибок посредством передачи определенных кодовых комбинаций, которые проверяются на приемном конце.

## Лекция 2. Пространственная коммутация

Основной функцией коммутатора является установление и разрыв соединения между двумя каналами передачи. Каналы передачи могут идти от коммутатора либо к абоненту, либо к другому коммутатору. Поэтому различают местные соединения и транзитные соединения. Пример местного соединения показан на рисунке 5.5.

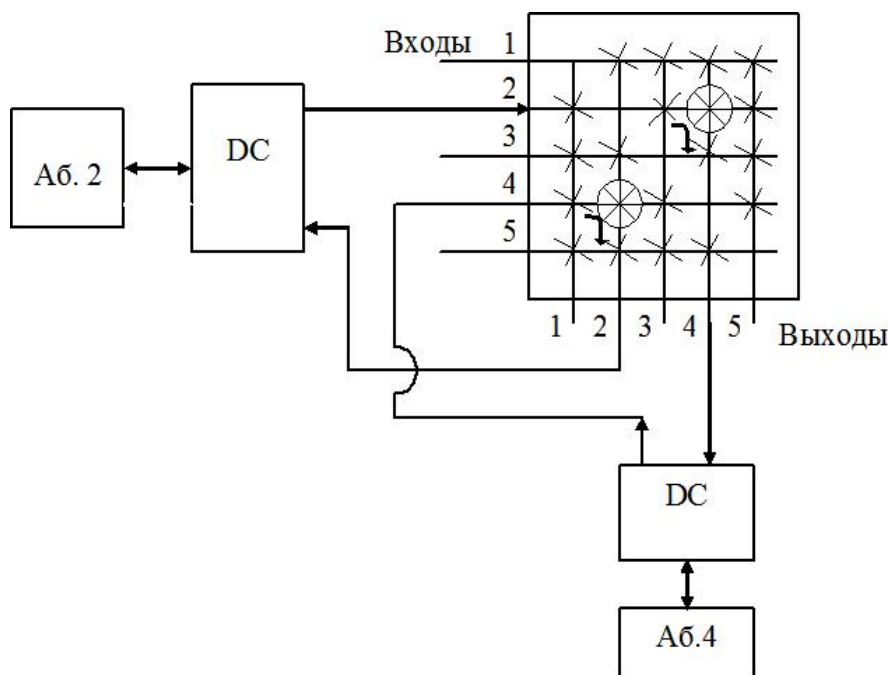


Рисунок 5.5 – Коммутация местного соединения

Здесь коммутационная схема является полностью доступной, так как каждый вход может быть соединен с каждым выходом. В этой схеме предполагается двусторонняя связь, поэто-

му число входов равно числу выходов и геометрия схемы – квадрат. Для каждого соединения предполагается две точки коммутации  $i \rightarrow j$  и  $j \rightarrow i$ . Одна из диагоналей квадрата  $i \rightarrow i$  элементы коммутации не содержит. Для каждого абонента предусмотрена дифференциальная система, которая согласует двухпроводное абонентское окончание с четырехпроводным (две двухпроводные линии) на стороне АТС. На рисунке 6.5 приведен пример соединения абонента 2 с абонентом 4. Нетрудно увидеть, что для каждого абонента в схеме используются строка и столбец коммутационной матрицы с одноименным номером.

Полнодоступные коммутационные схемы используются только на небольших АТС с числом абонентов  $N$  не более 1000. Это связано с большим числом необходимых точек коммутации  $N_k$ .  $N_k = N^2 - N = N(N-1) \approx N^2$

Если  $N=1000$ , то  $N_k = 10^6$ , а при  $N=5000$   $N_k = 25 \cdot 10^6$ . При таком количестве элементов коммутации сложность и стоимость коммутатора неизмеримо возрастают.

Сократить число коммутационных элементов при большом числе входных линий можно при каскадном включении не полнодоступных коммутационных схем. Примеры таких схем приведены на рисунке 5.6.

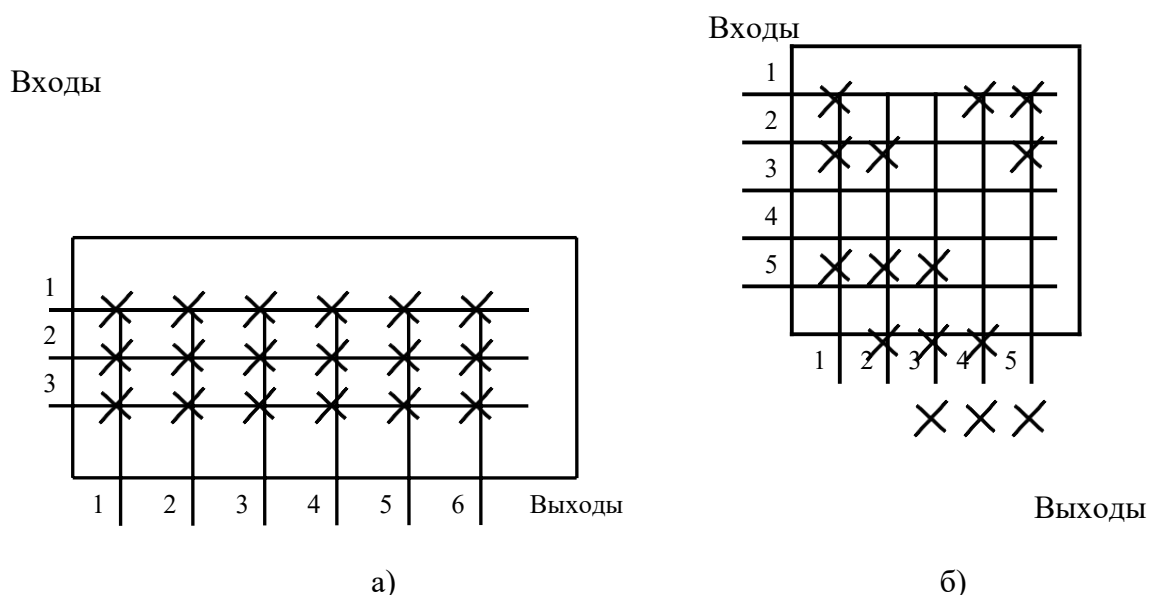


Рисунок 5.6 – Неполнодоступные схемы коммутации

Это схемы, когда число входов неравно числу выходов (рис.5.6а) и, когда в квадратной структуре не все точки содержат коммутационные элементы (рис.5.6б). И в том и в другом случае часть выходов не может быть соединена с частью входов. Наиболее очевидна такая ситуация в схеме рис.6.6б. В прямоугольной решетчатой структуре неполнодоступность возникает так. Входы 1, 2, 3 могут быть соединены с любым из выходов 1 - 6, однако встречный канал может быть организован только для трех выходов из шести. Такая невозможность установления соединения при занятом абоненте называется блокировкой. В связи с этим коммутационные схемы могут быть не блокирующимися или блокирующимися. Простой пример неблокирующейся схемы – квадратная решетка (рисунок 5.5) и блокирующейся – прямоугольная решетка (рисунок 5.6а).

Блокирующиеся схемы применяются в следующих случаях:

- при установлении транзитных соединений;
- в многозвенных коммутационных схемах;
- на удаленных концентраторах.

Во всех этих случаях требование обеспечения возможности установления соединения любого входа с любым выходом не является обязательным. Рассмотрим вначале транзитные соединения (рисунок 5.7).

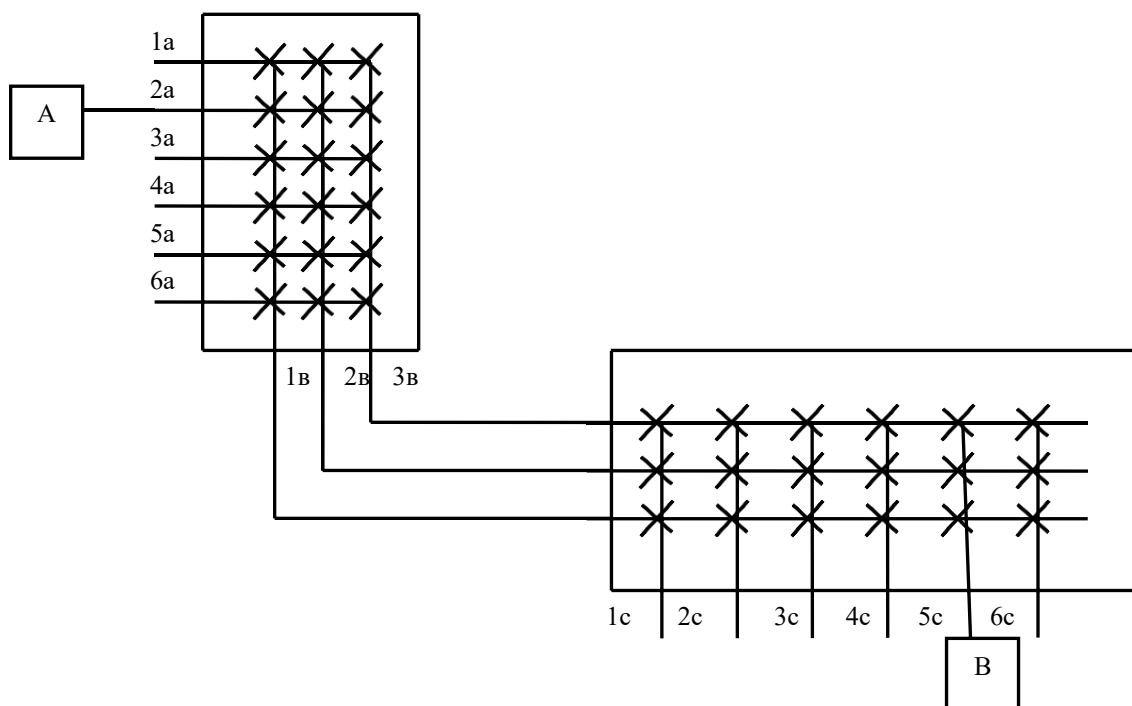


Рисунок 5.7 – Транзитное соединение

Здесь связь абонента А с абонентом В осуществляется через два коммутатора (две АТС), каждый из которых организован по блокирующей схеме. Так как вероятность одновременного обслуживания всех входов 1а – 6а мала, число выходов в первом коммутаторе меньше, чем входов. Все эти выходы подключены к входам второго коммутатора. При этом транзитное соединение А→В может осуществляться по разным траекториям:

2а – 1в – 5с

2а - 2в – 5с

2а – 3в – 5с

Выбор этой траектории определяется управляющими устройствами АТС в зависимости от задействования коммутационных элементов в обеих схемах. При этом при большой нагрузке возможен вариант отказа в услуге, когда все линии, соединяющие АТС (1в, 2в, 3в), заняты трафиком от других абонентов.

Подобные ситуации возникают и в многозвенных коммутаторах.

Рассмотрим теперь способы реализации коммутационной матрицы. Обычно, в ее узлах стоят электронные управляемые контакты (рисунок 5.8). В качестве таких контактов применялись герконы (герметические контакты) или электронные устройства (диоды, транзисторы). Однако все эти устройства имели недостаточную величину контактного отношения  $\frac{R_K}{R_\infty}$ , где  $R_K$  – сопротивление замкнутого контакта, а  $R_\infty$  – сопротивление контакта

$$\frac{R_K}{R_\infty}$$

в разомкнутом состоянии. В настоящее время коммутационные схемы с непосредственными контактами есть только в старых электронных АТС. Им на смену пришли цифровые, в которых состояние коммутации создается логическими процедурами передачи состояния (“и”, “не” и др.).

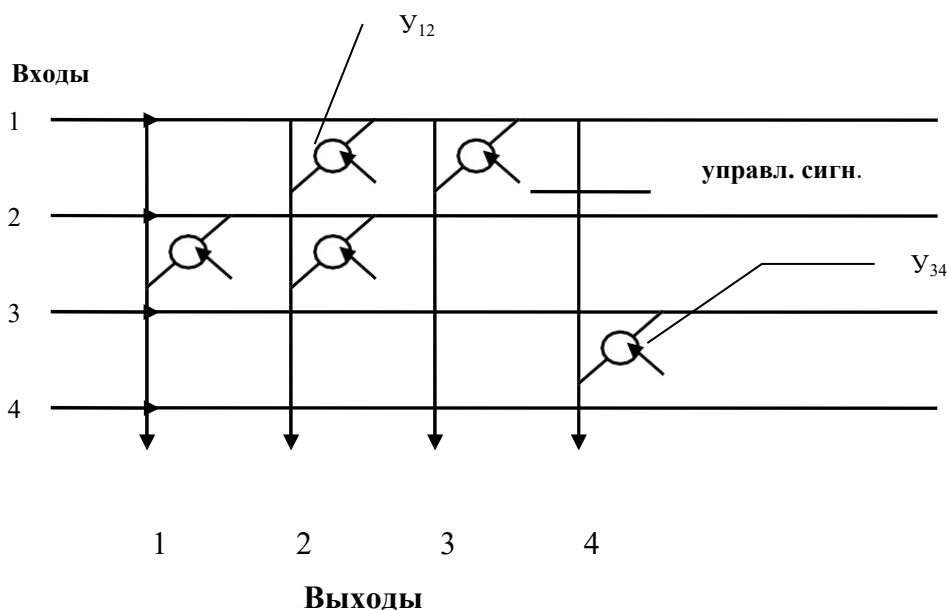


Рисунок 5.8 – Коммутационная пространственная матрица

Поскольку в цифровых системах связи используются преимущественно системы передачи с временным разделением каналов (например ИКМ-30), то и системы коммутации ориентированы на работу с такими сигналами. Алгоритм работы схемы коммутации здесь будет следующим (рисунок 5.9). Предположим, что абонент А занимает на первой входящей линии первый каналный интервал КИ1 и его надо соединить с абонентом В, который находится на второй исходящей линии. Тогда на коммутационный элемент  $Y_{12}$  надо подать управляющий импульс  $S_{y12}$  длительностью  $\tau_k$  во время первого каналного интервала. На выходе 2 в первом каналном интервале появится кодовое слово (байт) абонента А.

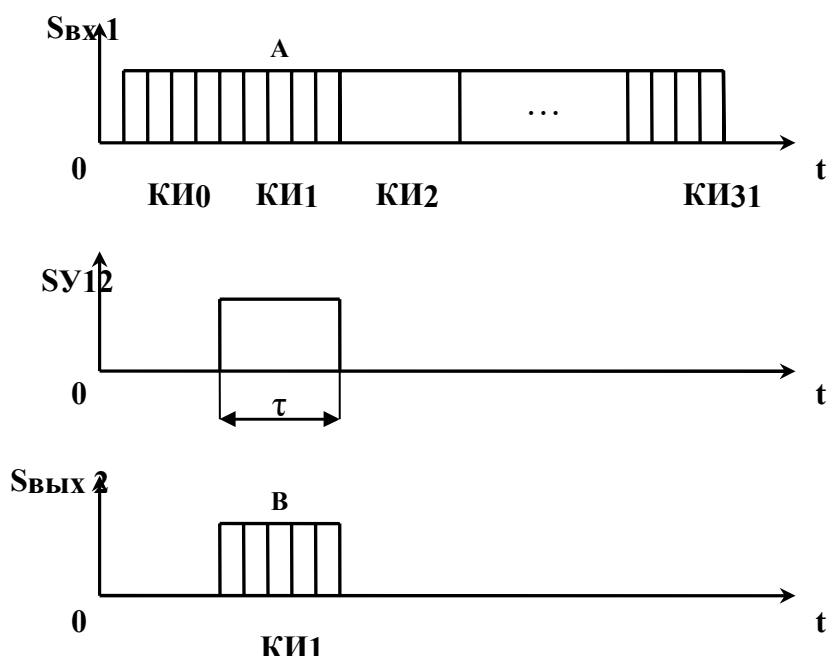


Рисунок 5.9 – Временные диаграммы

Чтобы его получить, абонент В должен считать эту информацию также в КИ1. В это время все элементы  $Y_{i2}$  второго столбца должны быть разомкнуты. Если абонент С передает свою информацию в КИ3 третьей входящей линии абоненту Д, находящемуся на четвертой исходящей линии, то управляющий импульс подается на коммутационный элемент  $Y_{34}$  во

время пятого канального интервала.

В коммутационной схеме на электронных ключах на схемы “и” одного столбца подаются входящие цифровые потоки и управляющие сигналы от АТС. При совпадении сигналов во времени схема “и” пропускает соответствующий канальный интервал (8 бит) через схему “или” в одну из исходящих линий. Например, первый канальный интервал из первой входящей линии нужно передать в n-ую линию. Тогда на схему “и1n” во время первого канального интервала должен поступить импульс  $y_{1n}$ , длительность которого равна длительности канального интервала. Нетрудно видеть, что в этой схеме каждой точке коммутации нужен свой управляющий вход и их общее число равно  $m \times n$ . Это усложняет схему.

В коммутационной схеме на мультиплексорах выбор входящей линии, которая переключается на соответствующую выходящую линию, задается кодом. Поэтому число управляющих входов здесь существенно меньше.

### Лекция 3. Временная коммутация

Как было отмечено в разделе 6.1. временная коммутация имеет место только для цифровых потоков с временным разделением каналов. Здесь в одном цифровом потоке (рисунок 5.10) информация абонента А из второго канального интервала заносится в КИ30, которую получает абонент В. Таким образом простейший временной коммутатор содержит одну входную и одну выходную линии.

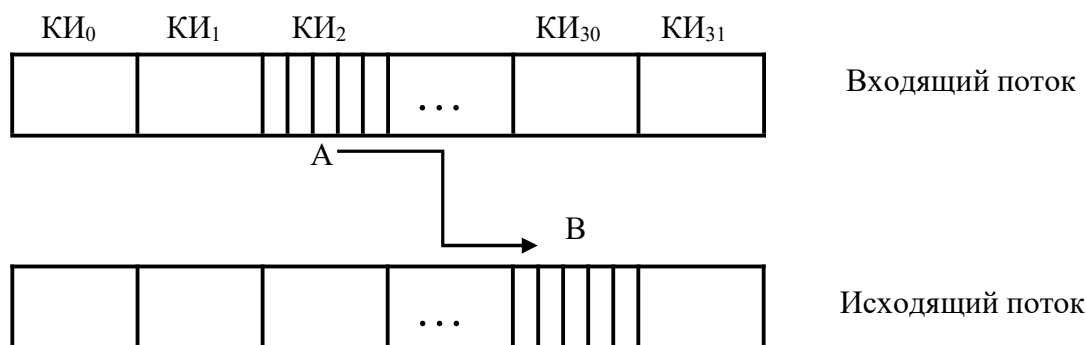


Рисунок 5.10 – Принцип временной коммутации

Операция перемещения информации с одной временной позиции на другую реализуется с помощью многоканального запоминающего устройства (ЗУ) (рисунок 5.11). Здесь кодовое слово каждого информационного канального интервала входящего цифрового потока (8 бит) последовательно записывается в 8-битовые ЗУ. После окончания записи начинается этап считывания. По команде управляющего устройства считывание из ячеек ЗУ происходит в другой последовательности.

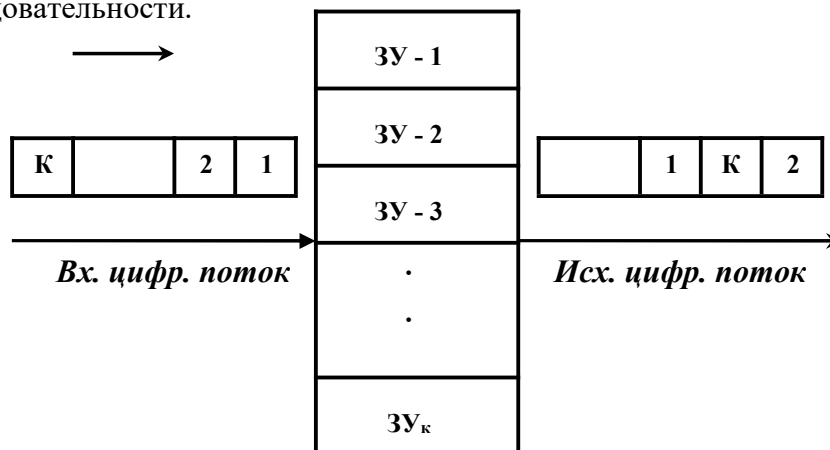


Рисунок 5.11 – Временной коммутатор на ЗУ

Управляющее устройство также реализуется с помощью запоминающих устройств (УЗУ), в которых содержится информация о номерах входящих и исходящих линий, поступающая от АТС. Проиллюстрируем работу временного коммутатора совместно с УЗУ (рисунок 5.12).

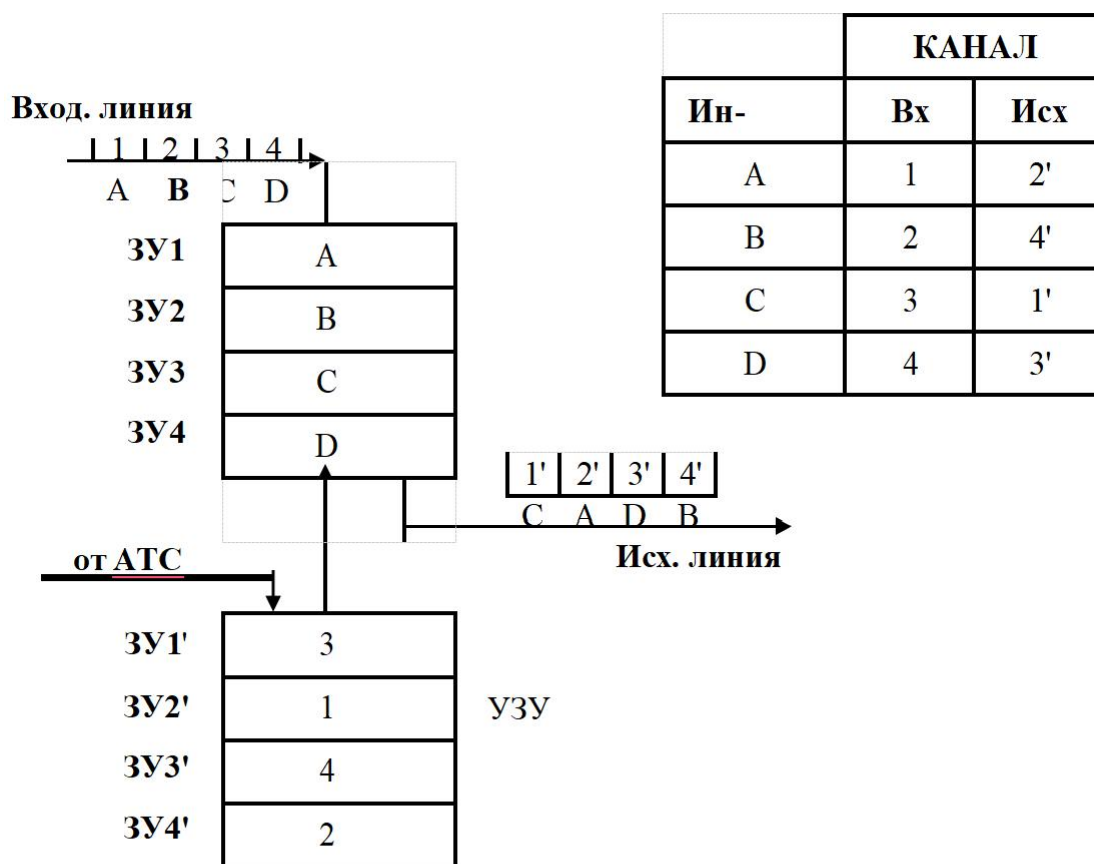


Рисунок 5.12 – Работа коммутатора с УЗУ

Здесь правило коммутации задается таблицей. Последовательность информации во времени будет CADB. Чтобы ее обеспечить, УЗУ должно выдать команды на считывание в такой последовательности -3142. Эти адреса поступят в УЗУ от АТС, анализирующей сигналы управления и взаимодействия (СУВ) входных цифровых потоков.

#### Лекция 4. Сети с коммутацией пакетов. Множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий

Распределение информации в сетях с коммутацией пакетов имеет существенные отличия по сравнению с сетями с коммутацией каналов и характеризуется разнообразием технологий.

Среди наиболее распространенных способов назовём следующие:

- случайный или поочерёдный доступ к общей среде передачи;
- коммутация пакетов с использованием MAC – адресов и таблиц коммутации;

- организация постоянных или временных виртуальных соединений;
- маршрутизация пакетов с использованием адресов сетевого уровня, например IP – адресов.

Рассмотрим эти технологии подробнее.

При объединении компьютеров в сети возникает задача их идентификации. Она решается с помощью системы адресов. Требования к адресу следующие:

1. Уникальность в мировой системе.
2. Иерархичность структуры адресов.
3. Компактность записи.
4. Удобство для пользователя при опознавании адреса.
5. Минимизация труда администратора при составлении адресных таблиц. Крайне необходимо, чтобы этот процесс шел автоматически.

Удовлетворить всем этим требованиям с помощью одной системы адресации невозможно, поэтому в настоящее время используют сразу три системы:

1. Аппаратные адреса – уникальные цифровые адреса (MAC – адреса) сетевых карт, которые задаются их производителями. Эти адреса функционируют на канальном уровне ЭМВОС и непосредственно могут работать только в небольших локальных сетях. Для адресации в больших сетях они не применяются, так как не обладают свойством иерархичности. Поэтому таблицы, составляемые из таких адресов, очень громоздки и сложны для администраторов сетей.

2. Числовые (сетевые) адреса – это тоже уникальные цифровые (IP) адреса, но они присваиваются не сетевым картам, а пользователям единой международной организацией IANA – Internet Assigned Numbers Authority – комиссией по константам Интернет. Система регистрации описана в документе RFC2050, а деятельность IANA в RFC1700. В этой системе задается номер сетевого узла в старших битах и номер хоста в младших битах. Такая система записи сравнительно компактна (32 бита) имеет постоянный размер, а главное – иерархична.

3. Цифровые адреса при всех своих достоинствах неудобны для пользователей. Их неудобно запоминать и трудно идентифицировать с конкретными объектами. Поэтому в сетях передачи данных также используются символьные адреса или имена. Например, tor.rk.tusur.ru или www.panasonic-batteries.com.

Недостатками таких адресов являются переменный формат, большая длина и отсутствие глобальной иерархичности.

Использование всех трех систем адресации осуществляется следующим образом. Пользователь задает символьный адрес. Компьютер переводит его в числовой (сетевой адрес). При взаимодействии пакета с сетевой картой в ЛВС используется аппаратный адрес. Такая система представляется громоздкой, но зато позволяет абоненту работать как в локальных, так и в глобальных сетях.

Для того чтобы все устройства, составляющие сеть (компьютеры, серверы, коммутаторы, маршрутизаторы и др.), могли взаимодействовать между собой они имеют аппаратный интерфейс (сетевая карта) и программный интерфейс (драйвер). Сетевая карта вместе со своим драйвером работает на канальном уровне и обеспечивает следующие функции:

– индивидуализация компьютера в сетевом пространстве с помощью уникального MAC – адреса, который присваивается сетевой карте при ее изготовлении. Из 48 бит адреса 22 бита отводятся на идентификацию фирмы изготовителя, а 24 бита выделяются для нумерации самой карты внутри данного производства. Такой формат адреса позволяет назначить 280 триллионов различных адресов;

- распознавание своего адреса в принимаемых пакетах;
- промежуточное хранение данных и служебной информации в буфере;
- выявление нестандартных ситуаций в сети: конфликты (коллизии), искажение пакетов и др.;

- выявление ошибок;
- преобразование параллельного кода данных от компьютера в последовательный для передачи по линии;
- кодирование и декодирование сигналов к виду, удобному для эффективной передачи (линейное кодирование);

Сетевая карта и MAC адрес – это необходимые элементы для каждой из вышеперечисленных технологий.

### Множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий

Рассмотрим кратко множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий МДКН/ОК (рисунок 5.13). Здесь все абоненты сети (СТ<sub>i</sub>) подключены к общей среде передачи посредством портов П.

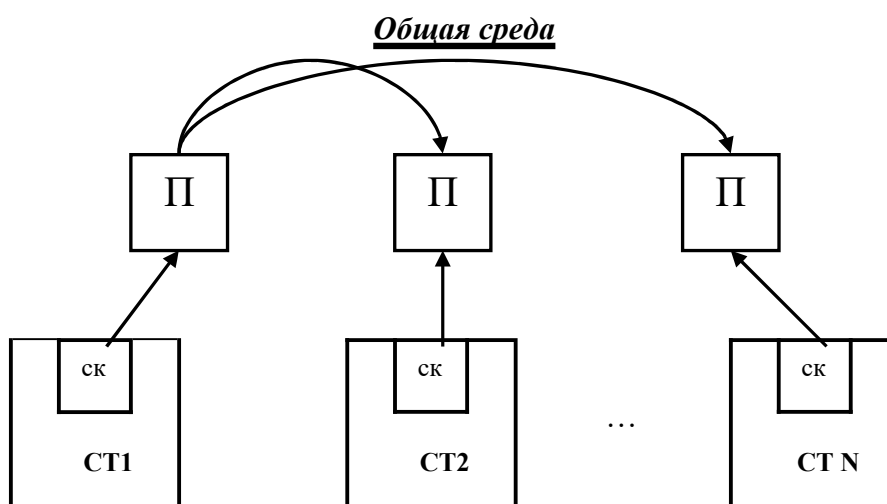


Рисунок 5.13 – Схема случайного доступа к среде

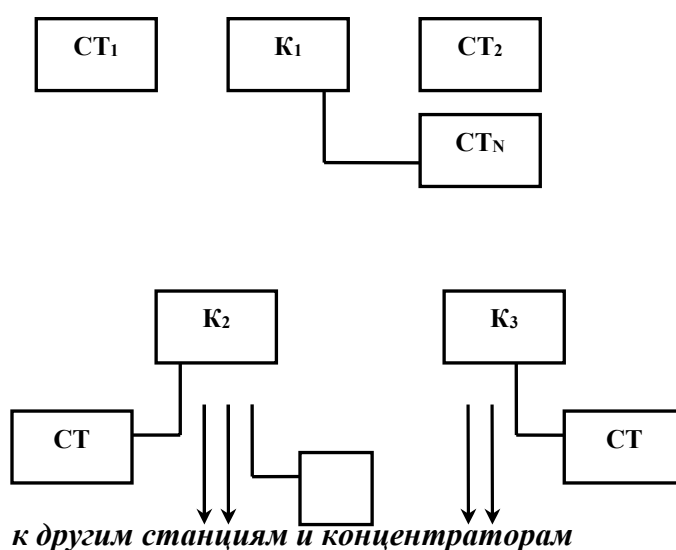


Рисунок 5.14 – Схема сети Ethernet на концентраторах (хабах)

С помощью приемников сетевых карт (СК) они “прослушивают” сеть. Если в сети находится какой-либо сигнал, то станции свои пакеты не передают. Если среда свободна,

то станция, готовая к передаче, посылает свои пакеты в произвольный момент времени. Такой случайный доступ к среде чрезвычайно прост и не требует специальной системы управления, однако при этом возникают конфликты (коллизии), когда две станции независимо одновременно посылают свои пакеты и они накладываются во времени. В этом случае оба пакета искажаются. Станции, обнаружив коллизию, дальнейшую передачу прекращают и вновь передают эти пакеты через некоторый случайный интервал времени. Разумеется, что вероятность возникновения коллизий тем больше, чем больше станций включено в общую среду и чем длиннее пакеты.

Наибольшее распространение к настоящему времени такая технология получила в сетях Ethernet (рисунок 5.14).

Здесь роль общей среды играют концентраторы  $K_i$  и линии их соединяющие. Концентратор (хаб) – это многопортовый повторитель, обладающий тем свойством, что сигнал, принятый приемником  $R_x$  одного из портов повторяется на выходе передатчиков  $T_x$  всех других портов (рисунок 5.15) за исключением собственного.

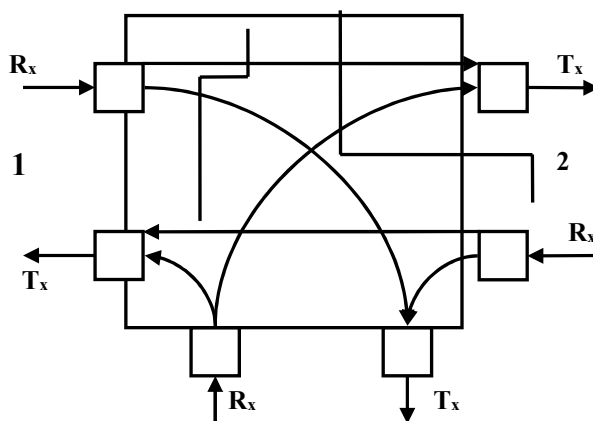


Рисунок 5.14– Принцип работы концентратора

Концентраторы могут включаться каскадно, образуя древовидную структуру сети. Стандарты технологии Ethernet имеют много разновидностей. Основные характеристики стандартов следующие:

10 Base-T. Скорость передачи битов – 10 Мбит/с. Максимальный размер пакета – 12203 бит, а минимальный – 576. Физическая среда передачи – по две витых пары на каждый порт. Общее количество станций в сети не более 1024. Максимальное расстояние между станцией и хабом (длина сегмента) 100м, а между любыми двумя станциями (диаметр сети) 500м. Последнее условие необходимо для того, чтобы при минимальном размере пакета станции могли бы обнаружить коллизию до того, как закончится передача пакета.

100 Base-T, 100 Base-F, скорость передачи битов – 100 Мбит/с., физическая среда передачи: витая пара (T) и оптическое волокно (F). Длина сегмента для витой пары – 100м., для волокна – 136м., а диаметр сети не превышает 260м.

## Лекция 5. Сети передачи данных на базе коммутаторов и IP сети

Более совершенным, но и более сложным способом построения сетей является коммутация пакетов. Рассмотрим коммутацию в сетях Ethernet.

Основное отличие от сети на концентраторах заключается в том, что вместо них применены

коммутаторы. В то же время все физические интерфейсы, размеры и формат кадра остались такими же, как и в классическом Ethernet.

Коммутатор Ethernet работает на канальном уровне на основе внутренней таблицы, связывающей порты коммутатора с MAC адресами, подключенных к ним устройств. Пусть, например, станция 1 с MAC адресом А посылает пакет к станции 2 с MAC адресом В. Коммутатор принимает пакет на порт №1 и анализирует адрес получателя. На основе таблицы он идентифицирует адрес В с портом №2, куда и посылает пакет. Основные достоинства такого виртуального соединения:

- дуплексный режим работы (full duplex);
- создается только на время передачи пакета;
- все другие порты коммутатора пакет не получают, что исключает коллизии;
- возможно одновременное попарное соединение различных портов коммутатора, что увеличивает пропускную способность узла.

Поскольку коммутатор анализирует управляющую информацию пакета, то он должен содержать буферные устройства памяти для каждого порта, чтобы записать весь пакет или его часть. В связи с этим различают следующие режимы коммутации:

- коммутация “напролет” (Cut Through). Здесь считывается только адрес назначения и сразу начинается передача на выходной порт. Такие коммутаторы обладают высоким быстродействием (задержка 150 битовых интервалов) и простотой реализации, но допускают передачу ошибочных пакетов;

- коммутация с полной буферизацией (Store and Forward). Здесь записываются даже самые длинные пакеты целиком. В таком режиме нет перегрузок за счет большого объема памяти, но вследствие этого же задержка достигает 12000 битовых интервалов.

Если сравнивать цифровые коммутаторы каналов с коммутаторами Ethernet, то основные отличия у них заключаются в следующем:

- коммутаторы каналов имеют небольшие ячейки памяти (8 бит), в то время как объем памяти в коммутаторах Ethernet достигает 1500 байт;

- соединение в коммутаторах каналов происходит на основании сигналов управления и взаимодействия (СУВ), передаваемых либо отдельно (ОКС №7), либо в самом цифровом потоке (КИ 16 в ИКМ - 30). Соединение в Ethernet происходит в соответствии с таблицами коммутатора и MAC – адресами;

- число входных портов в КК достигает десятков тысяч, в то время как для КП это десятки единиц (16 – 32 – 64). Поэтому сети с коммутируемым Ethernet – это локальные сети предприятий с числом станций от десятков до 4 - 8 тысяч.

Основные недостатки сетей на коммутаторах Ethernet:

1. Сетевые карты станций даже в пределах одного подразделения имеют, как правило, случайные MAC – адреса, поскольку приобретались в разное время, а может быть и у разных производителей. Выстроить какую-либо иерархическую структуру адресации практически невозможно. Поэтому для больших сетей таблицы коммутации становятся очень громоздкими.

2. Если сеть, построенная на коммутаторах Ethernet, имеет “петли”, то информация может циклически циркулировать по ним, создавая перегрузку.

3. Коммутаторы передают широковещательные пакеты по всем направлениям, что также создает перегрузку сети и так называемые “широковещательные штормы”.

## IP сети

Для объединения ЛВС сетей предприятий и территорий в глобальные сети было предложено несколько технологий. Большинство из них, в той или иной степени, опираются на применение понятий третьего (сетевого) уровня ЭМ ВОС – понятий маршрутизации. В основе принципа маршрутизации лежит собственная система

адресации, существенно отличающаяся от адресации канального уровня (MAC – адреса и др.). Рассмотрим эту систему на примере IP - адресации. IP адреса выдаются не устройствам (сетевым картам), а пользователям (компьютерам, серверам, маршрутизаторам и т.п.) единым международным органом IANA, причем они выдаются целыми блоками крупным потребителям (организациям, операторам связи – провайдерам и т.п.). Эти потребители, в свою очередь, раздают адреса более мелким пользователям, которые включены в их сеть или взаимодействуют с ними виртуально. Таким образом, выстраивается определенная иерархия адресов “от старшего к младшему”, с помощью которой проще управлять процессом распределения информации на узлах. IP адрес состоит из 4 байт, например, 190.248.15.97. Часть этого адреса, один или два первых байта, обозначает адрес крупного узла (страна, регион, большая корпорация и т.п.), а остальное – адрес сети или отдельной станции, присоединенный к этому узлу. Такая структура позволяет существенно сократить объем маршрутной информации, записываемой в маршрутизаторах. В маршрутизаторах, также как и коммутаторах есть таблицы, содержащие основные поля: номер сети, адрес следующего маршрутизатора, номер или адрес порта и расстояние (количество промежуточных маршрутизаторов или “хопов”) от сети до маршрутизатора (рисунки 5.15.)

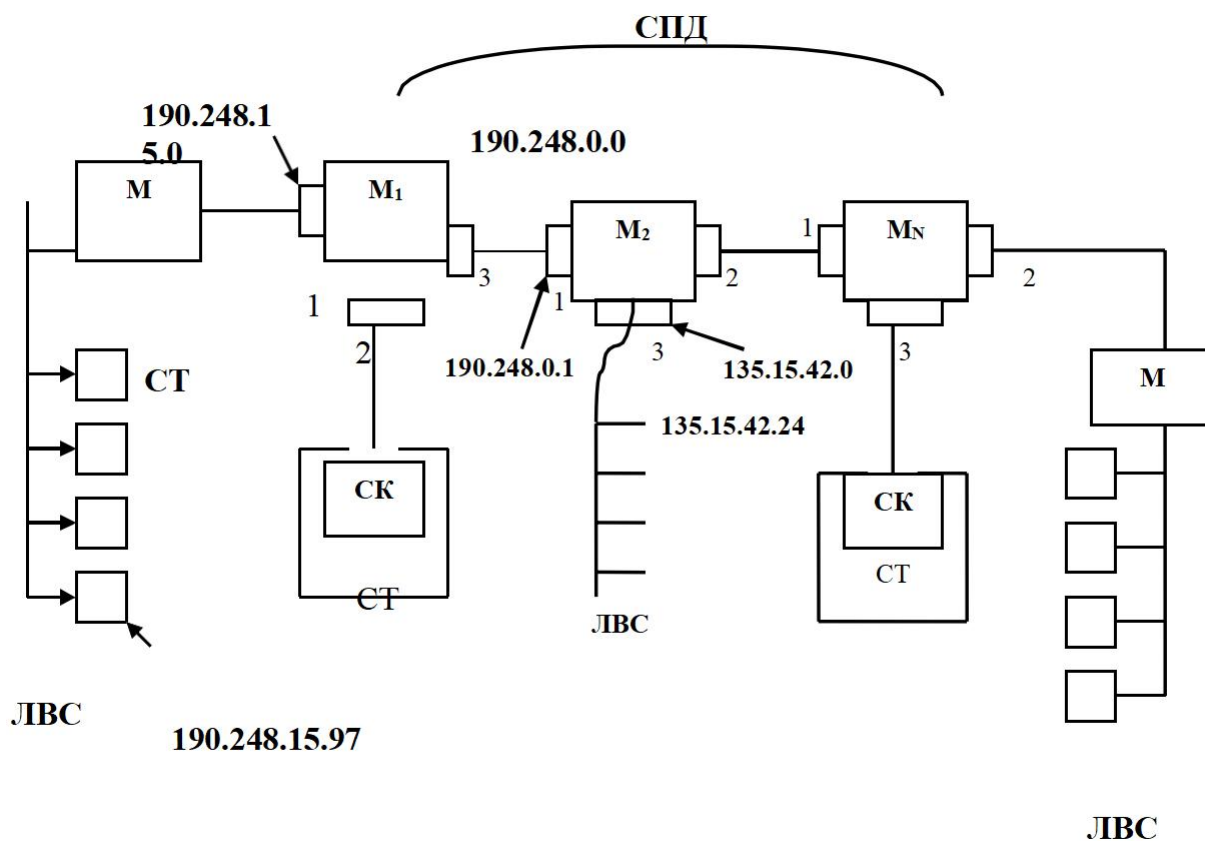


Рисунок 5.15 – Сеть передачи данных на маршрутизаторах

Пример фрагмента таблицы для маршрутизатора M1 (рисунок 5.16).

| Номер сети        | Адрес <u>следующего</u><br>маршрутизатора | Пор<br>т | Расстояние |
|-------------------|-------------------------------------------|----------|------------|
| 190.248.15.<br>97 | 190.248.15<br>.0                          | 1        | 1          |
| 135.15.42.2<br>4  | 135.15.42.0                               | 3        | 2          |
| 140.248.0.1       | 198.248.0.0                               | 3        | 1          |

Рисунок 5.16 – Фрагмент таблицы для маршрутизатора M1

Здесь первая строка описывает сеть непосредственно подключенную к M1, а вторая сеть 135.15.42.24 “видна” в M1 через маршрутизатор M2. Предположим что из сети передачи данных идут пакеты к M1. В адресном поле пакета есть адрес получателя, например 190.248.15.97. В то же время в таблицах всех маршрутизаторов, приближенных к M1 нет необходимости писать этот полный адрес, как и все другие адреса входящие в класс 190.248.0.0. Достаточно сделать одну запись 190.248.0.0 в таблицах этих маршрутизаторов и все пакеты будут направляться к порту 3 M1.

Составление таблиц маршрутизации производится либо вручную администратором сети (для небольших сетей), либо автоматически с помощью специальных протоколов RIP или OSPF.

К достоинствам маршрутизации пакетов следует также отнести:

- устранение “петель”, характерных для коммутаторов, поскольку маршрутизаторы имеют иерархическую структуру адресов и выбирают наикратчайший путь;
- защищенность от широковещательных штормов;
- возможность объединять сети различных протоколов канального уровня, например Ethernet и Frame Relay, на основе метода инкапсуляции. Суть этого метода состоит в следующем (рисунок 5.17).

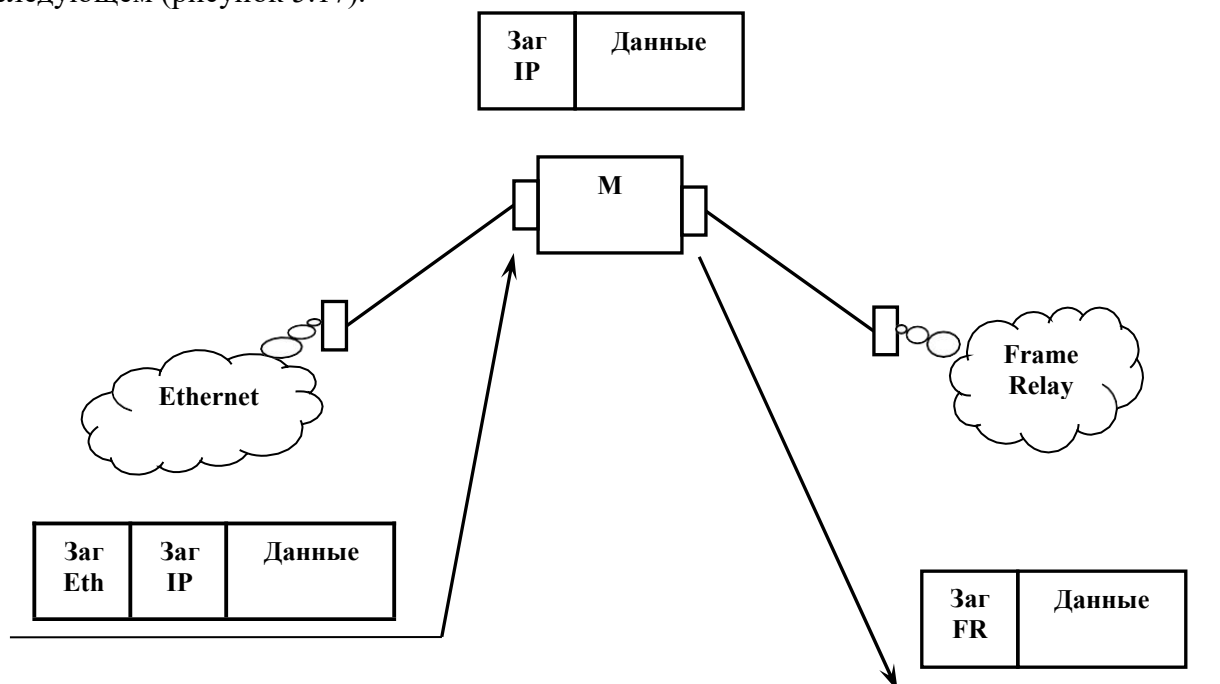


Рисунок 5.17 – Объединение разнородных сетей

Пакет, проходящий из сети Ethernet содержит заголовок канального уровня, заголовок сетевого уровня (IP) и данные.

В маршрутизаторе заголовок Ethernet удаляется, из заголовка IP извлекается информация о протоколе принимающей сети и адреса. На основании этой информации формируется пакет по протоколу Frame Relay с соответствующим заголовком.

## **Лекция 6. Примеры телекоммуникационных сетей**

Современные магистральные телекоммуникационные сети строятся, как правило, на основе волоконно–оптических линий связи с применением либо технологий ВРК–SDH, либо ЧРК (аналоговое кабельное телевидение), либо передачи пакетов (ATM, Gigabit Ethernet и др.).

### **Цифровая телекоммуникационная сеть SDH**

Цифровая телекоммуникационная сеть SDH (рисунок 5.18) строилась поэтапно. В начале было построено волоконно–оптическое кольцо в г. Томске на базе 16–ти волоконного оптического кабеля и транспортных единиц STM–1, которое объединило 5 АТС. В качестве узлового оборудования были использованы мультиплексоры ввода–вывода (МВВ). К этому кольцу были подключены цифровые АТС, выносные концентраторы (ВК) и узлы наложен–ной сети передачи данных (СПД). Основной нагрузкой этой сети был телефонный трафик между АТС. В последствии с развитием систем сотовой связи нагрузка на сеть увеличилась за счет трафика мобильной связи систем NMT–450 и GSM [15].

В связи с этим происходила модернизация сети путем введения на кольцо модулей STM–4, STM–16, строительства дополнительного кольца, примыкающего к первому, новых цифровых АТС и выносных концентраторов, которые на рисунке не показаны.

Областной сегмент сети был выполнен на основе ВОЛС и цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ) в виде магистрали, последовательно соединяющей МВВ, находящиеся в районных центрах и крупных населенных пунктах, расположенных вдоль основной водной магистрали (река Обь). Основные потребители трафика те же самые, что и в городе (АТС, узлы СПД, узлы сотовой связи). В настоящее время эта магистраль для обслуживания других районов и с целью резервирования будет охвачена двумя полукольцами.

Пропускная способность всех волоконно–оптических компонентов реализуется с большим запасом, поэтому при планировании и проектировании сети основной задачей было рациональное распределение цифровых потоков с помощью МВВ [15].

#### **Сеть передачи данных**

Сеть передачи данных выполнена по комбинированной схеме путем построения выделенной магистральной сети с дополнением ее сегментами, наложенными на цифровую сеть SDH–PDH (рисунок 5.19). Здесь реализовано волоконно–оптическое кольцо, соединяющее коммутаторы Gigabit Ethernet. Использование коммутаторов в опорной части сети обеспечивает высокие скорости передачи данных и экономичное использование оптических линий связи. К коммутаторам подключены маршрутизаторы высокого уровня. Их применение обеспечивает функционирование сети на третьем (IP) уровне и высокую защищенность как непосредственно сети передачи данных, так и данных абонентов от несанкционированного доступа.

К коммутаторам опорного кольца также по волоконно–оптическим каналам связи подключены коммутаторы Fast Ethernet или Gigabit Ethernet по радиальной схеме. В составе узлов СПД, как правило, присутствуют маршрутизаторы Mi, к портам которых подключаются фрагменты сетей доступа (модемные пулы dial up, модемные мультиплексоры ADSL(DSLAM) или просто абоненты, работающие по выделенным оптическим или медным(DSL) линиям).

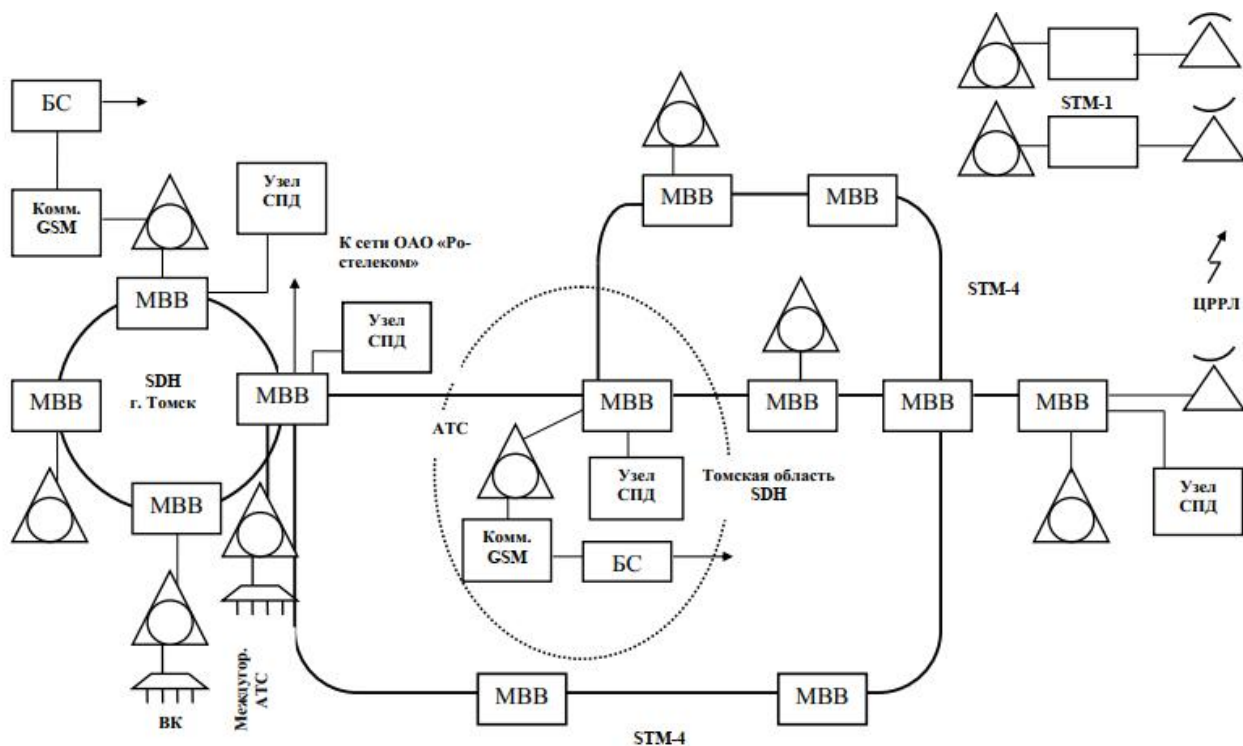


Рисунок 5.18 – Цифровая сеть SDH

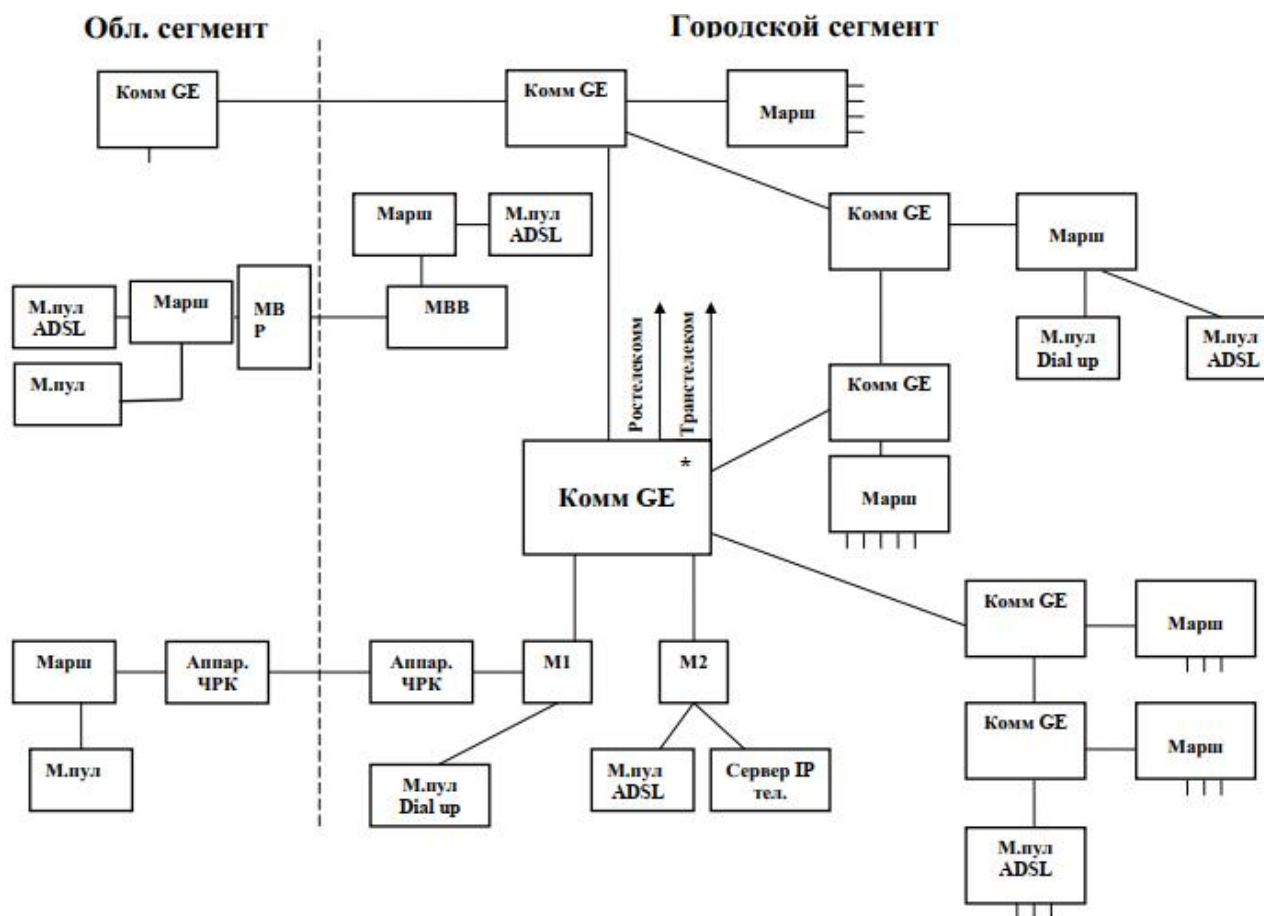


Рисунок 5.19 – Областная сеть передачи данных

Наиболее мощный узел СПД помимо того, что он собирают значительную долю трафика сети, осуществляет функционирование наложенной сети СПД. Это реализуется либо на потоках  $n \cdot E1$  через цифровую сеть SDH и мультиплексоры ввода вывода, либо через аналоговую телефонную сеть и аппаратуру ЧРК, объединяющую некоторое количество каналов тональной частоты. По этой технологии работает областной сегмент СПД и некоторые узлы в городе.

Кроме этого, к центральному узлу подключен сервер доступа IP-телефонии и порты выхода в сеть передачи, двух независимых внешних операторов. Таким образом, обеспечивается надежное резервирование внешнего канала.

Сеть передачи данных также используется как опорная сеть для организации корпоративных сетей различных организаций как в пределах города, так и по области и всей России. В этом случае для абонентов организуется своя виртуальная сеть поверх СПД. Такая сеть позволит осуществить взаимодействие между удаленными адресами со скоростями  $2 \times 10^3 \times 100 \times 1000$  Мбит/с. и обеспечит прозрачность сетевых сервисов [13].

### Система радиодоступа IEEE 802.11(Wi-Fi).

Беспроводные компьютерные сети все больше и больше приобретают популярность среди пользователей. В течение нескольких лет они проходили процесс стандартизации, повышалась скорость передачи данных, цена становилась доступнее. Сегодня беспроводные сети позволяют предоставить подключение пользователей там, где затруднено кабельное подключение или необходима полная мобильность. При этом беспроводные сети взаимодействуют с проводными сетями. В настоящее время необходимо принимать во внимание беспроводные решения при проектировании любых сетей – от малого офиса до крупного предприятия. Это, возможно, сэкономит и средства, и трудозатраты, и время.

Преимущества беспроводных технологий:

1. Удешевление инфраструктуры в связи отсутствием монтажа кабельных систем и активного оборудования. Стоимость самих работ, как правило, превышает стоимость кабелей.
2. Удобство мобильного использования. Пользователь не привязан к рабочему месту и может свободно перемещаться в зоне обслуживания сети.

На сегодняшний день широкое распространение получили следующие семейства стандартов для построения беспроводных вычислительных сетей:

- IEEE 802.11 – WirelessLocalAreaNetwork (WLAN – беспроводные локальные вычислительные сети) (Wi-Fi);
- IEEE 802.15 – WirelessPersonalAreaNetwork (WPAN – беспроводные персональные вычислительные сети) (ZigBee, Bluetooth);
- IEEE 802.16 – BroadbandWirelessAccess (BWA – беспроводной широкополосный доступ) (WiMax).

Стандарт IEEE 802.11 для организации беспроводных локальных сетей (WLAN) – протокол управления доступом к среде MAC (MediumAccessControl – нижний подуровень канального уровня) и протокол PHY передачи сигналов в физической среде. Наибольшее применение получили стандарты 802.11b и 802.11g со скоростями 11 Мбит/с и 22 Мбит/с соответственно, будем рассматривать только 802.11b, т.к. в рассматриваемой сети не нужна высокая скорость. Этим стандартом предусмотрено использование частотного диапазона от 2,4 до 2,4835 ГГц, который предназначен для безлицензионного использования в промышленности, науке и медицине. Разрешение выдается изготовителю и передается заказчику после приобретения продукта, в виде сертификата.

В основу стандарта 802.11 положена сотовая архитектура, причем сеть может состоять как из одной, так и нескольких ячеек. Каждая сота управляется базовой станцией, называемой точкой доступа AP (AccessPoint), которая вместе с находящимися в пределах радиуса ее действия рабочими станциями пользователей образует базовую зону обслуживания BSS (BasicServiceSet). Точки доступа многосотовой сети взаимодействуют между собой через

распределительную систему DS (DistributionSystem). Вся инфраструктура, включающая точки доступа и распределительную систему, образует расширенную зону обслуживания ESS (ExtendedServiceSet) [11].

Для экономии энергоресурсов мобильных рабочих станций, используемых в беспроводных ЛС, стандартом 802.11 предусмотрен механизм переключения станций в так называемый пассивный режим с минимальным потреблением мощности.

На физическом уровне используется технология широкополосной модуляции с прямым расширением спектра DSSS (DirectSequenceSpreadSpectrum), при которой весь диапазон делится на 5 перекрывающих друг друга поддиапазонов, по каждому из которых передается информация. Значения каждого бита кодируются последовательностью дополнительных кодов (ComplementaryCodeKeying).

На MAC–уровне определяются базовые структуры архитектуры сети и перечень услуг, предоставляемых этим уровнем. Стандартом определяются два основных типа архитектуры сетей: Ad Hoc и InfrastructureMode.

В режиме AdHoc который называют также режим PeertoPeer (точка– точка), станции непосредственно взаимодействуют друг с другом. Для этого режима требуется минимум оборудования – каждая станция должна быть оснащена беспроводным адаптером. При такой конфигурации не требуется создания какой–либо сетевой инфраструктуры. Основным недостатком режима AdHoc является ограниченный диапазон действия [11].

В режиме InfrastructureMode станции взаимодействуют друг с другом не напрямую, а через точку доступа, которая выполняет в беспроводной сети роль своеобразного концентратора. Рассматривают два режима взаимодействия с точками доступа: BSS (BasicServiceSet) и ESS (ExtendedServiceSet). В режиме BSS все станции связываются между собой только через точку доступа, которая может выполнять также функцию моста с внешней сетью. В расширенном режиме – ESS существует инфраструктура нескольких сетей BSS, причем сами точки доступа взаимодействуют друг с другом, что позволяет передавать трафик от одной BSS к другой. Точки доступа соединяются между собой с помощью сегментов кабельной сети, либо с помощью радиомостов.