

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Факультет телекоммуникаций

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

**С. М. Лапшин**

## ***СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ И ПРОТОКОЛЫ СИГНАЛИЗАЦИИ***

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики  
и радиоэлектроники для направлений специальности 1-45 01 01-02  
«Инфокоммуникационные технологии» (сети инфокоммуникаций),  
1-45 01 01-05 «Инфокоммуникационные технологии» (системы распределения  
мультимедийной информации) в качестве учебно-методического пособия*

Минск БГУИР 2017

УДК 654(076)  
ББК 32.88я73  
Л24

**Р е ц е н з е н т ы:**

кафедра последиplomного образования учреждения образования  
«Белорусская государственная академия связи»  
(протокол №6 от 25.02.2016);

заместитель директора по учебной и информационно-аналитической работе  
филиала БНТУ «Институт повышения квалификации  
и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники,  
технологии и экономики БНТУ»,  
кандидат технических наук, доцент И. А. Тавгень

**Лапшин, С. М.**

Л24 Системы коммутации и протоколы сигнализации : учеб.-метод.  
пособие / С. М. Лапшин. – Минск : БГУИР, 2017. – 80 с. : ил.  
ISBN 978-985-543-296-9.

Рассматриваются вопросы построения коммутационных устройств систем коммутации каналов и пакетов. Приведены сведения об основных системах сигнализации современных телекоммуникационных сетей.

**УДК 654(076)  
ББК 32.88я73**

**ISBN 978-985-543-296-9**

© Лапшин С. М., 2017  
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. . . . .	4
1 СТРУКТУРА СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ. . . . .	6
1.1 Коммутационные поля. . . . .	7
1.2 Блокировки в коммутационных блоках и методы их устранения. . . . .	12
1.3 Особенности построения многокаскадных оптических коммутаторов. . . . .	17
2 ПРИНЦИПЫ СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ КОММУТАЦИИ. . .	20
2.1 Координаты коммутации. . . . .	20
2.2 Виды цифровой коммутации. . . . .	20
2.3 Особенности коммутационных полей цифровых систем коммутации . . . . .	22
3 СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ. . . . .	32
3.1 Принципы построения пакетного коммутатора. . . . .	35
4 СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ . . .	46
4.1 Классификация протоколов сигнализации. . . . .	46
4.2 Абонентская сигнализация. . . . .	47
4.3 Системы межстанционной сигнализации. . . . .	50
4.4 Сигнализация 2ВСК. . . . .	52
4.5 Сигнализация токами тональных частот. . . . .	54
4.6 Абонентская сигнализация EDSS1. . . . .	56
4.7 Процесс установления соединения. . . . .	68
5 ОБЩЕКANAЛЬНАЯ СИСТЕМА СИГНАЛИЗАЦИИ ОКС №7. . .	72
5.1 Понятие и режимы работы ОКС №7. . . . .	72
5.2 Передача сигнальных сообщений. . . . .	74
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ . . . . .	77
ЛИТЕРАТУРА. . . . .	80

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в системах телекоммуникаций используются типовые каналы передачи, параметры которых нормализованы. Например, в телефонии это канал тональной частоты с эффективно передаваемой полосой частот 300...3400 Гц и цифровой канал со скоростью передачи 64 кбит/с.

Задачей системы коммутации является создание требуемого пути (в телекоммуникациях – информационного тракта) между двумя любыми оконечными устройствами. Коммутацией называется установление по заявке индивидуального соединения заданного входа системы с заданным ее выходом на время, необходимое для передачи информации между ними.

В зависимости от формы представления передаваемой через систему информации различают коммутацию цифровую и аналоговую. Цифровой коммутацией называется процесс, при котором соединения между вводом и выводом системы устанавливаются с помощью операций над цифровым сигналом без преобразования его в аналоговый сигнал.

Различают понятия однокоординатной и многокоординатной коммутации цифрового сигнала. Однокоординатной называется коммутация, при которой соединительные пути в системе отделены друг от друга по одному разделительному признаку (под разделительным признаком понимается параметр, по которому в системе происходит разделение соединительных путей между вводом и выводом системы). Если для осуществления коммутации используется две и более координаты, то говорят о многокоординатной коммутации.

Существует два принципа коммутации – с переключением трактов (коммутация каналов) и с запоминанием информации (коммутация с запоминанием). Коммутация каналов применяется в основном на сетях, к которым предъявляются два основных требования: время на установление соединения должно быть значительно меньше времени сеанса связи, и, кроме того, задержки информации при передаче должны быть минимальны. Обычно это сети, где необходимо обеспечить диалоговую работу. При этом способе соединительный путь между вводом и выводом системы предоставляется на время, необходимое для передачи всей информации. Коммутация каналов может быть реализована в системах с объединением частотно-разделенных каналов (ЧРК), системах с объединением время-разделенных каналов (ВРК) и др. (рисунок В.1). В системах передачи с объединением ЧРК для передачи сигналов по каждому каналу в диапазоне частот линейного тракта отводится определенная полоса частот.

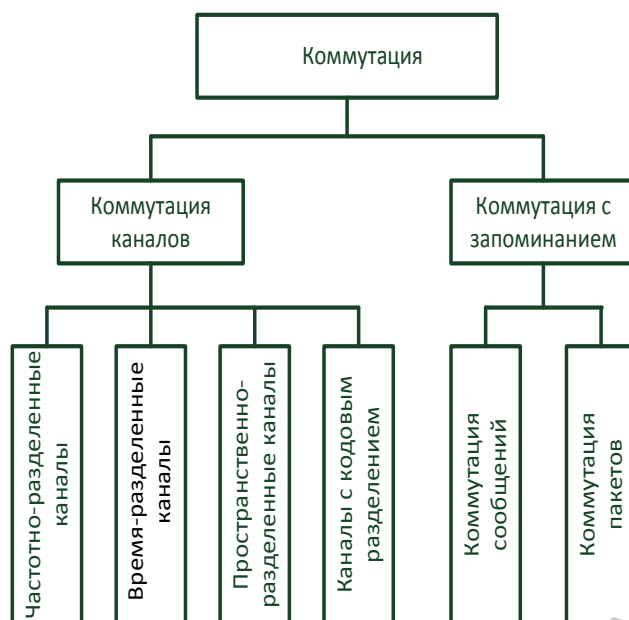


Рисунок В.1 – Коммутация каналов

Чаще всего системы с объединением ЧРК передают аналоговые сигналы, поэтому иногда их называют *аналоговыми системами передачи*. В системе передачи с объединением ВРК для передачи сигнала по каждому каналу в линейном тракте отводится определенный интервал времени. Если в эти интервалы времени по каждому каналу передаются цифровые сигналы, то такие системы передачи с ВРК называются *цифровыми системами передачи*. Как правило, в таких системах применяется синхронное мультиплексирование.

Коммутация с запоминанием основана на передаче информации, заранее записанной в память узла коммутации. При этом данные могут быть преобразованы (изменена скорость передачи, изменен код, добавлена или удалена служебная информация). Коммутация с запоминанием применяется, как правило, на цифровых сетях и подразделяется на коммутацию сообщений и коммутацию пакетов. В первом случае сообщение передается целиком, согласно адресной части, размещаемой в заголовке сообщения. При коммутации пакетов сообщение разбивают на части определенной длины – пакеты – с целью минимизировать очереди в узлах коммутации и время обработки информации. Каждый пакет при этом получает свой заголовок. Сети с коммутацией пакетов (сети X.25, Frame Relay, АТМ) значительно превосходят сети с коммутацией сообщений в скорости, что позволяет использовать их в настоящее время не только для служб передачи данных, но и служб, работающих в интерактивном режиме. В системах коммутации с запоминанием применяется, как правило, асинхронное (статистическое) мультиплексирование, позволяющее в любой момент времени предоставить абоненту требуемую полосу пропускания цифрового тракта (при условии ее наличия).

# 1 СТРУКТУРА СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ

Система коммутации – комплекс оборудования, предназначенный для приема и распределения поступающей информации по направлениям связи. Классификация коммутационных систем представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация коммутационных систем

Классификационный признак	Коммутационная система
Тип коммутационного и управляющего оборудования	Электромеханическая (декадно-шаговая, координатная), электронная
Форма представления сигналов	Аналоговая, цифровая
Вид передаваемой информации	Телефонная, телеграфная, передачи данных, вещания
Место, занимаемое в телекоммуникационной сети	Центральная, узловая, оконечная, транзитная, узлы входящих сообщений (УВС), узлы исходящих сообщений (УИС)
Территориальное деление	Междугородная, городская, сельская, учрежденческая
Емкость	Малой емкости, средней емкости, большой емкости
Разделение каналов	С пространственным разделением, с временным разделением
Способ коммутации	С коммутацией каналов, коммутацией пакетов, коммутацией сообщений

Для выполнения своих функций коммутационная система должна иметь в своем составе следующие виды оборудования (рисунок 1.1):

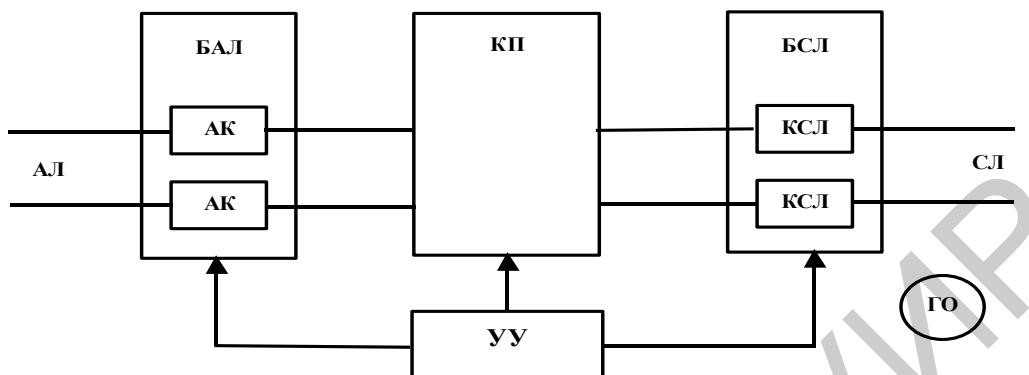
1) Блоки абонентских линий (БАЛ), которые осуществляют подключение абонентских линий (АЛ) к системе.

2) Блоки соединительных линий (БСЛ), к которым через комплекты соединительных линий (КСЛ) происходит подключение соединительных линий (СЛ) для связи с другими коммутационными системами.

3) Коммутационное поле (КП), осуществляющее коммутацию входящих линий с исходящими. Коммутационное поле может быть построено на основе пространственного разделения каналов, и тогда в качестве коммутационных элементов используются многократные координатные соединители (МКС), герконовые реле, ферриды. Коммутационное поле с временным разделением каналов строится на основе применения импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) и использует в качестве элементов полупроводниковые запоминающие устройства и логические интегральные микросхемы.

4) Система управления (СУ), выполняющая все логические функции по управлению процессами установления соединений.

5) Генераторное оборудование, осуществляющее формирование акустических сигналов.



*БАЛ – блок абонентских линий*

*БСЛ – блок соединительных линий*

*АК – абонентский комплект*

*ГО – генераторное оборудование*

*КСЛ – комплект соединительных линий*

*УУ – управляющее устройство*

Рисунок 1.1 – Обобщенная структура коммутационной системы

## 1.1 Коммутационные поля

### Структура коммутационного поля

Одним из основных частей коммутационной системы является коммутационное поле. Его рациональное построение позволяет при минимальных затратах оборудования обеспечить требуемое качество обслуживания вызовов. Структура КП показана на рисунке 1.2 (прямыми линиями обозначены ступени искания (звенья)).

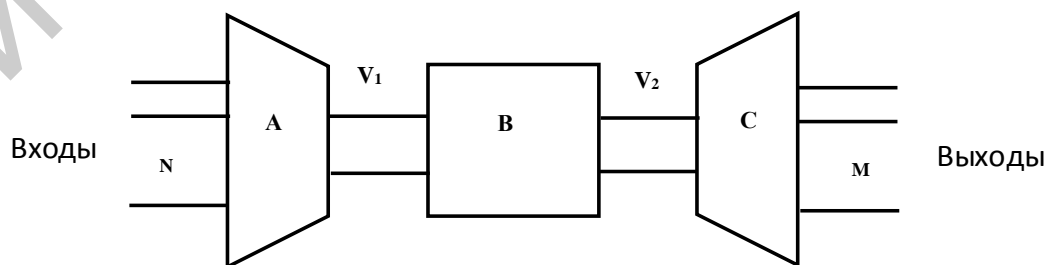


Рисунок 1.2 – Структура коммутационного поля

Коммутационные поля разделяются на ступени искания (звенья) – группа коммутационных приборов, выполняющих одинаковые функции.

С помощью КП через внутрисканционные линии  $V_1$  и  $V_2$   $N$  входов соединяются с  $M$  выходами. Чаще всего соотношение между числом линий следующее:  $N > V_1$ ;  $V_1 = V_2$ ;  $V_2 < M$ .

На ступени А осуществляется переход от большого числа входов  $N$  (абонентских линий) к меньшему числу внутрисканционных линий  $V_1$ , т. е. выполняется функция сжатия. На ступени В внутрисканционные линии  $V_1$  коммутируются с внутрисканционными линиями  $V_2$ , т. е. выполняется функция коммутации. На ступени С осуществляется переход от внутрисканционных линий  $V_2$  к требуемому числу выходов  $M$ , выполняется функция расширения.

Ступени искания строятся на основе коммутационных схем, которые можно классифицировать по следующим признакам:

1) по соотношению числа входов и выходов:

- схемы концентрации, или сжатия (рисунок 1.3);

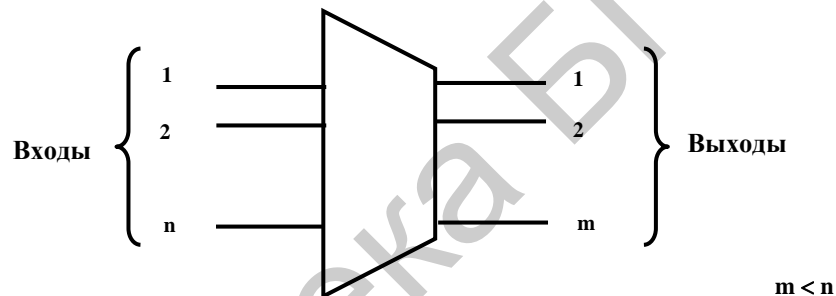


Рисунок 1.3 – Схема концентрации

- схемы расширения (рисунок 1.4);

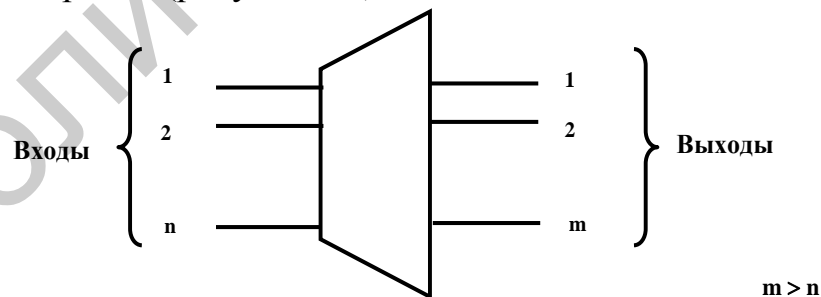


Рисунок 1.4 – Схема расширения

- схемы смешивания (рисунок 1.5);



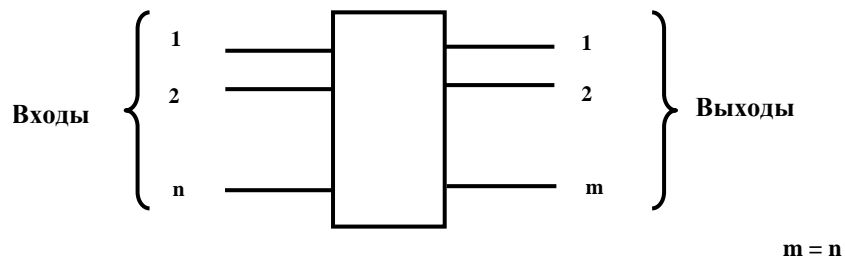


Рисунок 1.5 – Схема смешивания

2) по количеству точек коммутации между входом и выходом:

- однозвенные или однокаскадные, в которых соединение входа с выходом осуществляется через одну точку коммутации (рисунок 1.6);

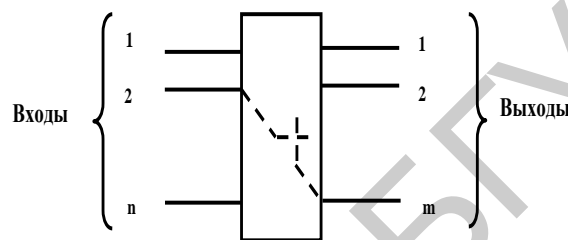


Рисунок 1.6 – Однозвенная ступень искания

- многозвенные, в которых соединение входа с выходом осуществляется через несколько точек коммутации, например через две (рисунок 1.7).

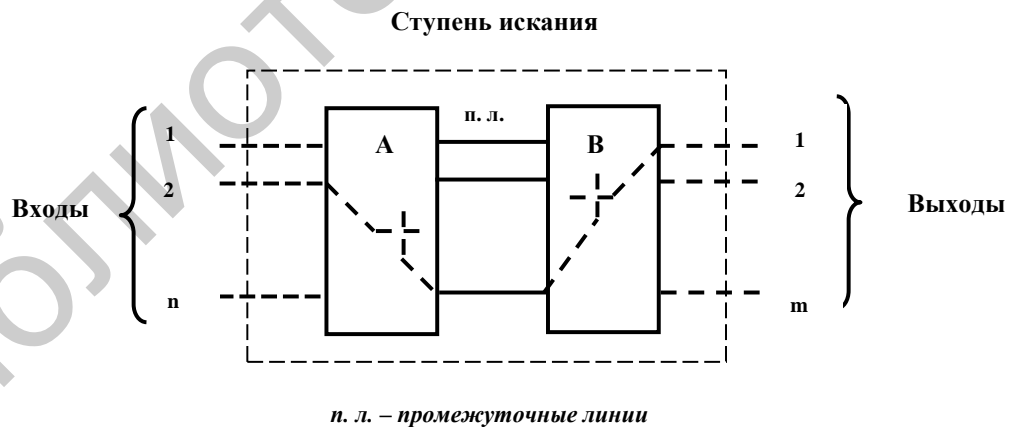


Рисунок 1.7 – Двухзвенная ступень искания

Принято обозначать звенья коммутационной схемы буквами английского алфавита: А, В, С, D и т. д. Многозвенные схемы используются для увеличения доступности. В данных коммутационных схемах применяется принцип обусловленного искания: выбирается такой выход, к которому есть свободная промежуточная линия, доступная входу.

Структура коммутационного поля характеризуется числом входящих  $N$  и исходящих  $M$  каналов, числом ступеней искания, режимом искания в каждой

ступени и способом искания промежуточных путей между отдельными ступенями искания и звеньями коммутации. Под ступенью искания будем понимать часть коммутационного поля, для всей совокупности входов которой имеется доступ к одним и тем же направлениям, объединяющим выходы. Причем соединение через ступень искания может быть установлено вне зависимости от того, имеются ли на последующих ступенях искания возможности для установления соединения. Ступень искания может быть однозвенной или содержать несколько звеньев коммутации. В первом случае соединение между входом и выходом осуществляется только через одну точку коммутации, во втором – через несколько. Ступени искания строятся посредством коммутационных блоков.

По способу включения выходов коммутационные блоки (КБ) могут быть полностью доступными, частично доступными и полностью доступными с блокировками. Ступени искания могут работать в режимах свободного, группового и вынужденного (линейного) искания. В режиме свободного искания входящей линии (канала), по которой поступило требование на установление соединения, предоставляется любой свободный канал из числа доступных. В режиме группового искания входящему каналу предоставляется любой свободный канал в определенном направлении (группе). В режиме линейного искания входящему каналу предоставляется определенный исходящий канал. Для образования соединительного тракта в коммутационном поле необходимо обеспечить выбор соединительного пути между входом и выходом коммутационного блока.

Если КБ имеет двухзвенное построение, как показано на рисунке 1.8, а, то все входы  $N$  и выходы  $M$  включены в разные коммутаторы, причем каждый из них будет характеризоваться двумя координатами: номером коммутатора и номером входа в нем. Соединительный путь между входом и выходом состоит из одной промежуточной линии (ПЛ) между звеньями  $A$  и  $B$  и двух точек коммутации, на звеньях  $A$  и  $B$ . На звене  $A$  образовано  $k_A$  коммутаторов, имеющих  $n_A$  входов и  $m_A$  выходов каждый. Чтобы однозначно определить точку коммутации, необходимо задать три координаты:  $k_A$ ,  $n_A$  и  $m_A$ .

На звене  $B$  имеется  $k_B$  коммутаторов, имеющих  $n_B$  входов и  $m_B$  выходов каждый. Минимальное количество координат точки коммутации звена  $B$  также равно трем:  $k_B$ ,  $n_B$  и  $m_B$ .

Из рисунка 1.8 видно, что часть координат характеризует одновременно объекты нескольких типов. Так, каждое значение координаты  $r$  определяет номер коммутатора звена  $A$  и одновременно номер входа коммутатора звена  $B$ , а координаты  $j$  – номер выхода коммутатора звена  $A$  и номер коммутатора звена  $B$ . Поэтому соединительный путь в данном КБ может быть представлен в виде набора четырех координат  $r$ ,  $i$ ,  $j$  и  $\gamma$ .

В режиме свободного искания соединение на звене  $A$  может быть установлено через любую из  $m_A$  точек коммутации, характеризующихся координатами  $r$ ,  $i$ ,  $j$ . На звене  $B$  соединение может проходить через любую из  $m_A m_B$  точек коммутации. Однако выбор определенной точки коммутации

звена А ограничивает число точек коммутации, которые могут быть использованы для установления соединения на звене В, до значения  $m_B$  (рисунок 1.8, б).

Совокупность всех возможных соединительных путей для установления соединения между входами и выходами в режиме свободного искания может быть представлена набором точек коммутации звеньев А и В, через которые могут проходить эти соединительные пути.

Если КБ работает в режиме группового искания, то при определении выхода звена В фиксируется значение координаты  $\gamma$ , соответствующей номеру направления  $H_\gamma$ , в котором устанавливается соединение.

Следовательно, если при свободном искании для соединения можно было использовать любой выход звена В, т. е. координата  $\gamma$  могла принимать все возможные значения из  $m_B$ , то при групповом искании число доступных выходов ограничено, т. к. значение координаты  $\gamma$  фиксировано. Для соединения входа  $X_{ji}$  с выходом в требуемом направлении необходимо выбирать точки коммутации звена А и звена В среди  $m_A$  точек (рисунок 1.8, в).

В режиме линейного искания соединение между входом  $X_{ij}$  и выходом  $Z_{j\gamma}$  можно установить только через одну точку коммутации на звене А и одну точку на звене В. В этом режиме искания имеется только один соединительный путь (рисунок 1.8, г).

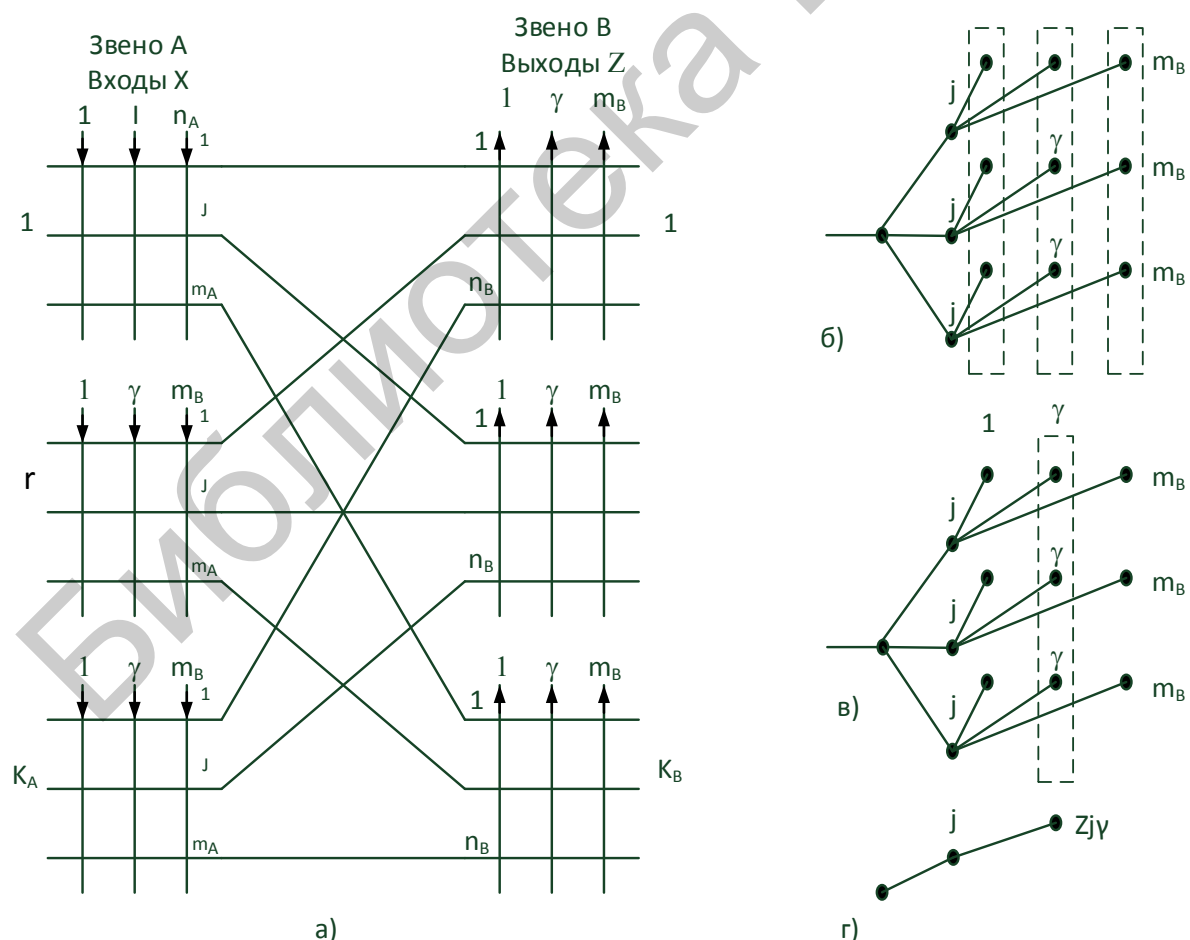


Рисунок 1.8 – Режимы искания в коммутационных блоках

## 1.2 Блокировки в коммутационных блоках и методы их устранения

Особенностью звеньевых КБ является переменная доступность. При этом число входов блока, доступных входу, по которому поступил вызов, зависит от состояния того коммутатора звена А, в который включен данный вход, т. е. от того количества соединений, которые в коммутаторах уже установлены. Так, если соединение входа КБ с выходом осуществляется в режиме свободного искания, то для первого вызова, поступившего на вход коммутатора звена А, все выходы звена В будут доступны. Для второго вызова, поступившего в тот же коммутатор звена А, доступность уменьшится, поскольку одна ПЛ из данного коммутатора звена А уже занята. Следовательно, потери сообщения в звеньевых схемах могут возникать не только при занятости всех выходов, но и когда заняты все ПЛ, доступные данному входу, а также в том случае, если свободны ПЛ к тем коммутаторам звена В, где заняты все выходы.

Вследствие наличия внутренних блокировок звеньевые блоки при заданных потерях обладают меньшей пропускной способностью, чем однозвенные полностью доступные блоки с тем же числом входов и выходов.

Для уменьшения внутренних блокировок используются различные способы в зависимости от того, в каком режиме искания они работают. К этим способам относятся увеличение числа промежуточных линий между звеньями, рациональное включение выходов в направлениях, увеличение числа звеньев, увеличение связности между звеньями, перестроение ранее установленных соединений с целью освобождения соединительных путей для нового соединения, использование неблокирующих КБ, внутриблочные обходы. Для уменьшения внутренних блокировок в КБ могут одновременно использоваться несколько из указанных способов. Рассмотрим некоторые из них.

*Внутриблочные обходы.* Для уменьшения внутренних блокировок могут быть использованы внутриблочные обходные линии (иногда их называют линиями взаимопомощи). Для уяснения работы КБ с внутриблочными обходами рассмотрим схему на рисунке 1.9.

Из двухзвенной схемы видно, что если при установлении соединения все  $m_A$  ПЛ из одного коммутатора звена А будут заняты или имеет место неудачное сочетание между свободными ПЛ и свободными выходами, поступивший вызов не будет обслужен, хотя имеются свободные выходы. Здесь при занятости всех  $m_A$  ПЛ, например из первого коммутатора звена А, занимается обходная линия  $m'_A$  ко второму коммутатору того же звена и производится поиск ПЛ среди  $m_A$  выходов этого коммутатора. Если и здесь ПЛ не будет найдена, то занимается обходная линия в следующий коммутатор и т. д. Таким образом, для входа, по которому поступил вызов, доступны все  $k_A m_A$  ПЛ, что существенно уменьшит вероятность блокировок. Данный способ требует добавления коммутационного оборудования, т. е. увеличения емкости каждого коммутатора звена А. Так, в соответствии со схемой на рисунке 1.9 требуются коммутаторы звена А емкостью  $(n_A + n'_A) \cdot (m_A + m'_A)$  вместо  $n_A \cdot m_A$ . Число обходных линий определяется при расчете КБ.

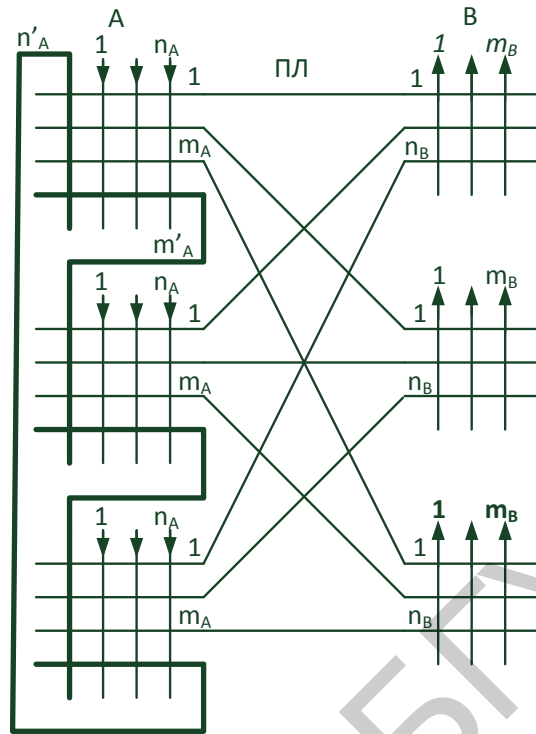


Рисунок 1.9 – Работа КБ с внутриблочными обходами

*Перестроение в коммутационных блоках.* В многозвенных коммутационных блоках внутренние блокировки можно уменьшить или полностью устранить путем перестроения (перемаршрутизации) ранее установленных соединений с целью освобождения занятых ПЛ для установления нового соединения. Пусть в трехзвенном коммутационном блоке (рисунок 1.10, а), построенном на коммутаторах емкостью  $2 \times 2$ , установлено два соединения: 1) вход X1 соединен с выходом Z4 через второй коммутатор звена В (ПЛ2 между звеньями А и В и ПЛ4 между звеньями В и С); 2) вход X3 соединен с выходом Z2 через первый коммутатор звена В (ПЛ3 между звеньями А и В и ПЛ1 между звеньями В и С). При поступлении требования на соединение между входом X2 и выходом Z1 будет получен отказ, т. к. в данном состоянии КБ нет свободных ПЛ (сплошными линиями показаны занятые, а пунктирными – свободные ПЛ). Если в данном КБ произвести перестроение ранее установленного соединения для входа X1 и выхода Z4, как это показано на рисунке 1.10, б (ПЛ1 между звеньями А и В и ПЛ2 между звеньями В и С), то становится возможным устранить внутренние блокировки и соединить вход X2 с выходом Z1 через первый коммутатор звена В (ПЛ2 между звеньями А и В и ПЛ3 между звеньями В и С). Для устранения блокировки потребовалось переустройство одного соединения.

Перестроение ранее установленных соединений должно осуществляться без перерыва связи или при условии, что эти перерывы короткие и для абонентов незаметны. Если же по коммутируемым каналам передается дискретная информация, то даже кратковременные перерывы могут привести к искажению

информации. В таких случаях к основному КБ добавляется вспомогательный КБ (рисунок 1.10, в), через который устанавливаются соединения, параллельные ранее установленным, и только после этого осуществляется перестроение соединений в основном блоке. Это позволяет производить перестроение без перерыва связи в ранее установленных соединениях.

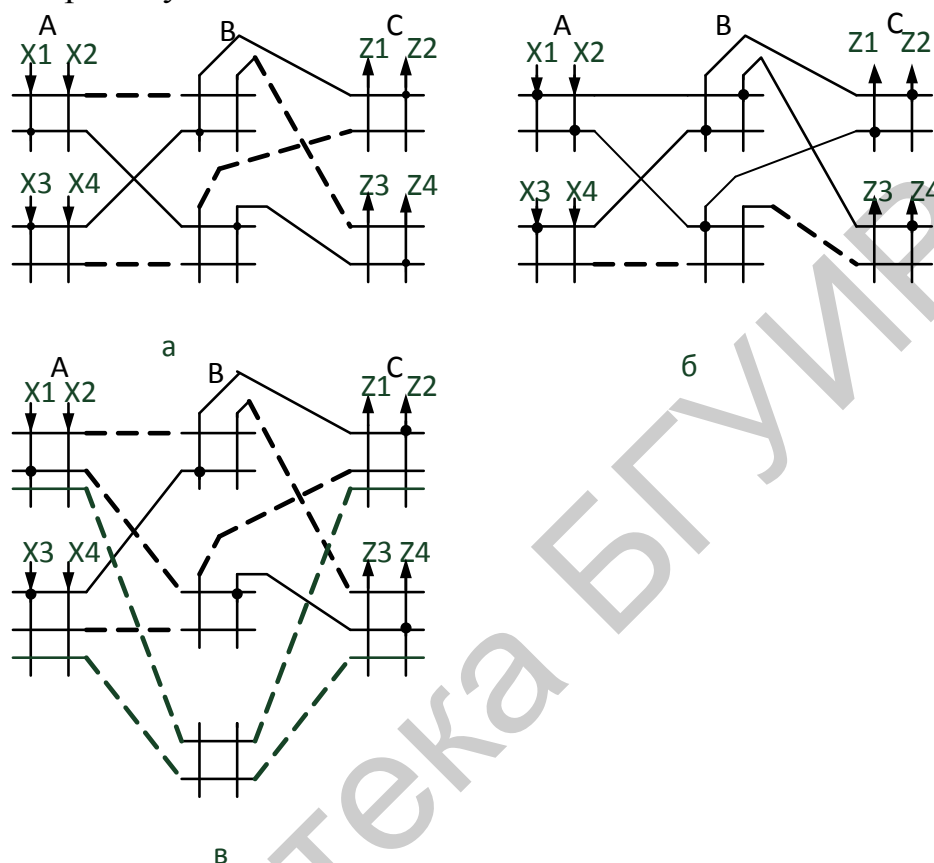


Рисунок 1.10 – Перестроение в коммутационном блоке

*Увеличение числа звеньев коммутации.* В двухзвенной коммутационной схеме имеется один путь между заданными входом и выходом, показанный коммутационным графом (рисунок 1.11, а). В трехзвенной схеме мы имеем уже два варианта соединительных путей (рисунок 1.11, б), в четырехзвенной – четыре (рисунок 1.11, в) и т. д.

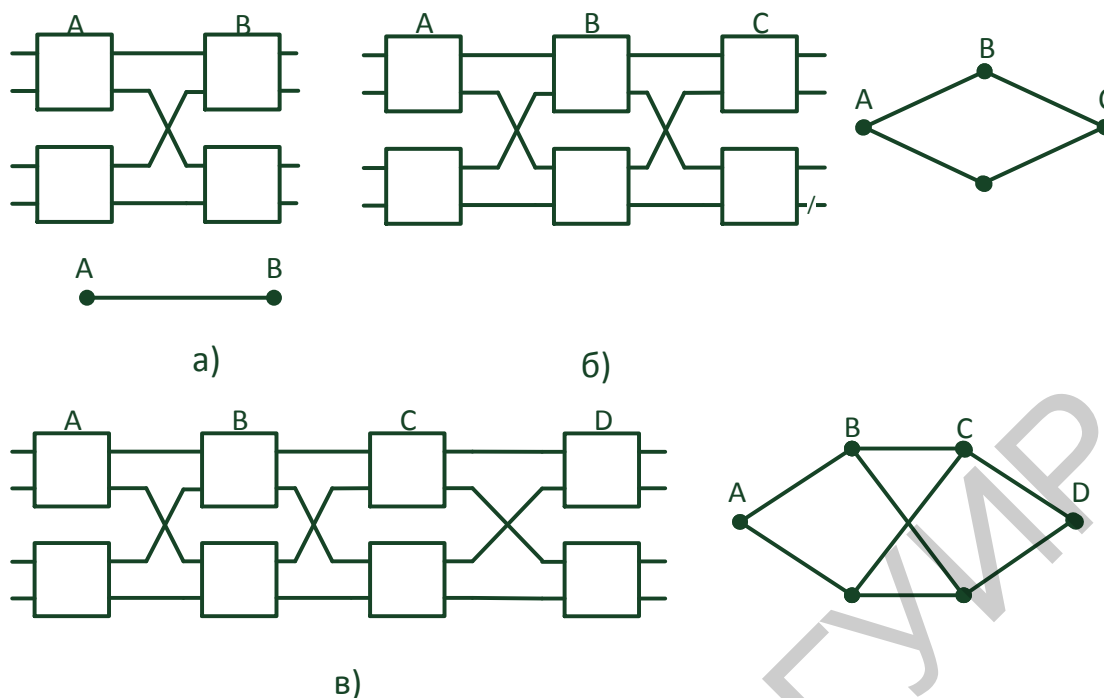


Рисунок 1.11 – Увеличение числа звеньев

*Неблокирующие коммутационные блоки.* В ранее рассмотренных многозвенных коммутационных блоках имели место внутренние блокировки. В некоторых случаях требуется построить коммутационные блоки (а иногда и коммутационные поля), в которых не должно быть внутренних блокировок. Такие коммутационные блоки могут быть как однозвенными, так и многозвенными. В полностью доступных однозвенных коммутационных блоках внутренние блокировки отсутствуют. Однако строить однозвенные блоки с использованием коммутационных приборов, обладающих малой доступностью входов по отношению к выходам, неэкономично, поскольку требуется большое число коммутационных приборов для их построения. Поэтому применяют многозвенные блоки с такой структурой, которая полностью устраняет внутренние блокировки и требует меньшего объема коммутационного оборудования, чем однозвенная схема с таким же числом входов и выходов. Объем оборудования коммутационных блоков или *КП* обычно определяют по суммарному числу точек коммутации, посредством которых можно сравнивать между собой коммутационные схемы, предназначенные для решения одинаковых коммутационных задач.

В работах Клоза показано, что симметричная трехзвенная односвязная схема будет полностью доступной неблокирующей при условии  $m_1 \geq (2n_1 - 1)$  (рисунок 1.12). В симметричной схеме  $N = K_1 n_1 = M = K_3 m_3$ , при этом  $K_3 = K_1$ , а  $m_3 = n_1$ ,  $m_3 = n_1$ ,  $n_2 = K_1 m_2 = K_1$ . В такой схеме независимо от того, сколько соединений уже установлено, всегда найдется свободный соединительный путь между входом, по которому поступило требование на соединение, и выходом. Следовательно, такая схема не имеет внутренних блокировок.

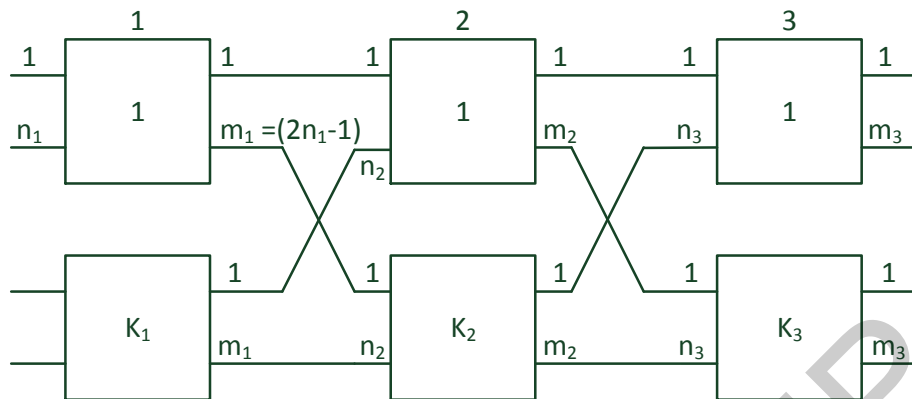


Рисунок 1.12 – Схема Клоза

Пример реализации такого блока на четыре входа и четыре выхода приведен на рисунке 1.13.

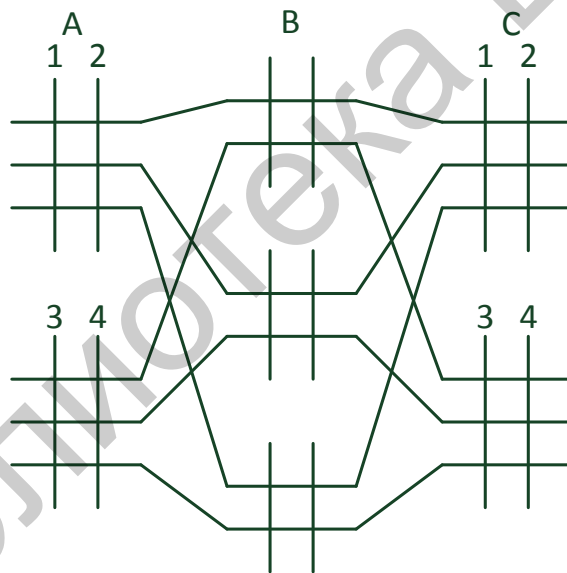


Рисунок 1.13 – Пример неблокирующей схемы

Число точек коммутации для однозвенной и неблокирующей трехзвенной схем при разном значении числа входов  $N$  приведено в таблице 1.2. При большом числе входов и выходов трехзвенные неблокирующие схемы имеют меньшее число точек коммутации, чем однозвенные. Из таблицы 1.2 видно, что уже при  $N = 36$  трехзвенные схемы становятся экономичнее.



Таблица 1.2 – Сравнение однозвенной и неблокирующей схем

Кол-во входов N	Кол-во точек коммутации		Кол-во входов N	Кол-во точек коммутации	
	Однозвенная схема	Трехзвенная схема		Однозвенная схема	Трехзвенная схема
4	16	35	64	4096	2880
9	81	135	81	6561	4131
16	256	336	100	10 000	5700
25	625	675	1000	1 000 000	186 737
36	1296	1288	10000	100 000 000	5 970 000

### 1.3 Особенности построения многокаскадных оптических коммутаторов

При построении многокаскадных оптических коммутаторов (МОК) технология построения КБ также может накладывать определенные ограничения, поэтому функциональную пригодность и эффективность КБ оценивают обычно с помощью следующих показателей:

- 1) требуемое число базовых элементов (БЭ) с учетом, что стоимость реализации коммутатора по меньшей мере пропорциональна их числу;
- 2) однородность коммутации, т. е. такая ситуация, при которой потери при коммутации не зависят от комбинации портов входа-выхода;
- 3) пересекаемость связующих волноводов (crossover), которую желательно минимизировать или исключить вовсе с учетом, что при наличии такого пересечения могут возникнуть потери мощности оптического излучения и переходные помехи (crosstalk) в результате взаимодействия световых потоков;
- 4) характеристики блокировки, т. е. принадлежность МОК к одному из двух классов коммутаторов: блокирующих или неблокирующих.

Мерой однородности коммутации могут служить максимальное и минимальное числа базовых переключателей (элементов) на оптическом пути, соединяющем различные комбинации портов входа-выхода, и соответствующие им оценки максимальных и минимальных потерь при коммутации.

Возможность пересечения волноводов обусловлена тем, что большие МОК изготавливаются как оптические интегральные схемы (ОИС) на единой подложке и для исключения возможности пересечения топология МОК должна быть реализована в виде плоского графа с учетом, что ОИС в отличие от электронных ИС не может быть многослойной.

Неблокирующие коммутаторы делятся на коммутаторы, неблокирующие в строгом смысле (первый тип), т. е. такие неблокирующие коммутаторы, которые при использовании любой процедуры соединения не требуют перемаршрутизации какого-либо соединения, и условно неблокирующие (второй тип), требующие перемаршрутизации.

Первый тип является наиболее желаемым, однако он требует при реализации наибольшего числа БЭ. Второй тип является некоторым компромиссом и используется очень широко. Преимущество второго типа коммутаторов – относительно малое число требуемых БЭ. Его основной недостаток – этот тип коммутаторов требует более сложных алгоритмов управления.

Рассмотрим описанные в литературе некоторые основные схемы (или архитектуры) КБ, которые могут быть использованы в каскадных оптических коммутаторах большого размера.

*Матричный кросскоммутатор.* Рассмотрим схему матричного кросс-коммутатора на примере коммутатора  $4 \times 4$ , использующего БЭ размером  $2 \times 2$ , приведенного на рисунке 1.14.

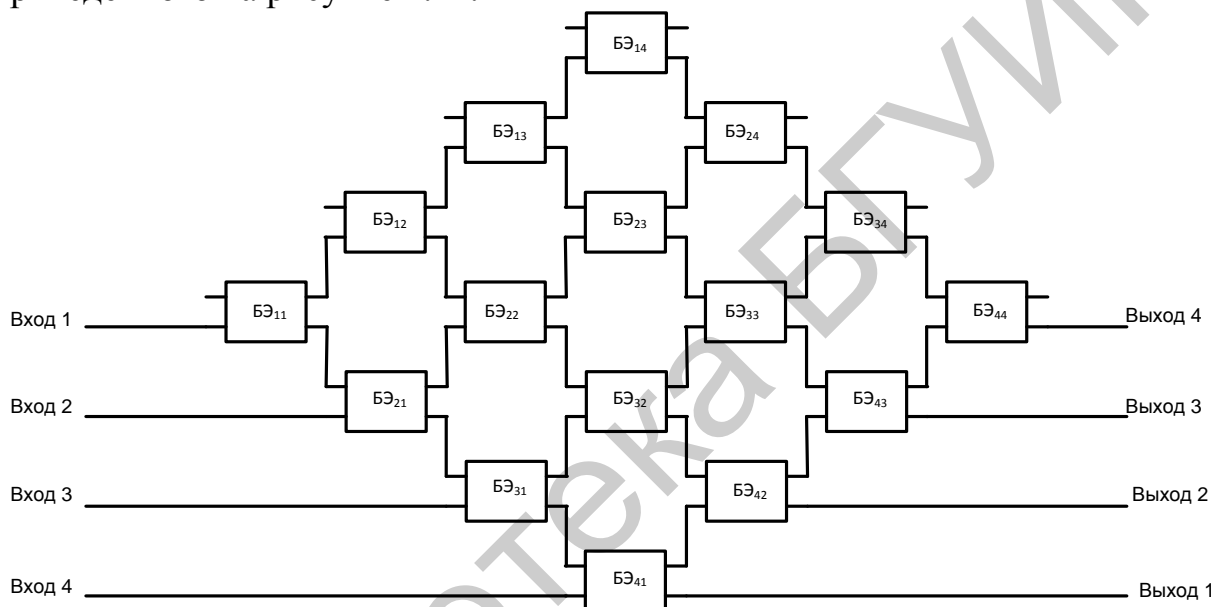


Рисунок 1.14 – Матричный кросскоммутатор

Из рисунка видно, что для реализации схемы требуется матрица  $4 \times 4$ , состоящая из 16 БЭ. Рассмотрим канонический путь коммутации (т. е. по «строке» и «столбцу» – тот путь, который нужно соблюдать) при соединении входа 1 с выходом 3, использующий БЭ, расположенные в «строке» 1 (от входа до пересечения со столбцом 3) и «столбце» 3 (от пересечения со строкой 1 до выхода) данной матрицы. Указанный путь осуществлен путем установки всех БЭ, кроме БЭ<sub>13</sub>, в состояние «перекрестного соединения» (БЭ<sub>13</sub> установлен в состояние «проходного соединения»). Кроме этого пути существует ряд других путей, рассматриваемых как неканонические (т. е. не обеспечивающие свойства неблокируемости).

Схема на рисунке 1.14 является неблокирующей в широком смысле, т. е. неблокирующей, если используются канонические правила соединения входа X с выходом Y, описанные выше, а значит, она не требует перемаршрутизации уже осуществленных соединений. Вместе с тем она не является неблокирующей в строгом смысле, т. к. требует соблюдения указанных правил при прокладке

соединения. Этот пример подтверждает то, что схема матричного коммутатора требует  $n^2$  БЭ типа  $2 \times 2$ , а также то, что длина кратчайшего пути равна 1, а наиболее длинного –  $(2n - 1)$ . Граф схемы является пленарным, а значит, при изготовлении схем не возникнет необходимости в пересечении оптических волноводов.

*Схема Шпанке – Бенеша.* Пример КБ размером  $8 \times 8$  приведен на рисунке 1.15. Эта схема относится к классу неблокирующих с перемаршрутизацией, но требует большего числа БЭ размером  $2 \times 2$  – 28 (плата за планарность), хотя все же меньше, чем схема матричного кросс-коммутатора того же размера (64). Длины кратчайшего и наиболее длинного путей в схеме неодинаковы и составляют  $n/2$  и  $n$  БЭ  $2 \times 2$  соответственно.

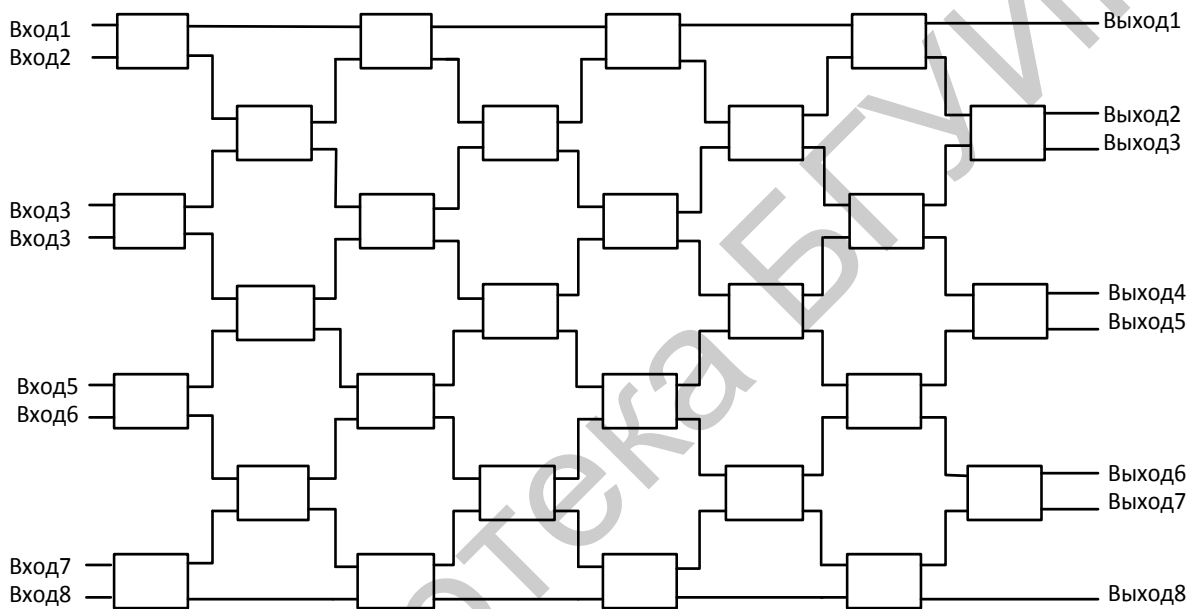


Рисунок 1.15 – Схема Шпанке – Бенеша

## 2 ПРИНЦИПЫ СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ КОММУТАЦИИ

### 2.1 Координаты коммутации

*Однокоординатной* называется коммутация, при которой соединительные пути в системе отделены друг от друга по одному разделительному признаку, где под разделительным признаком понимается параметр, по которому в системе происходит разделение соединительных путей между вводом и выводом. Например, в аналоговых системах наибольшее распространение получила однокоординатная коммутация с пространственным признаком разделения каналов.

### 2.2 Виды цифровой коммутации

При аналоговой коммутации каналов используются пространственные коммутационные схемы. При этом каждая точка коммутации закрепляется за определенным соединением на весь период его существования. Коммутация с временным разделением предполагает совместное использование точек коммутации путем разделения времени на интервалы, которые повторяются циклически. В каждом интервале отдельные конкретные точки коммутации и соответствующие им промежуточные соединительные линии периодически закрепляются за существующими соединениями.

Различают три вида цифровой коммутации:

1) *Пространственная коммутация*, при которой процесс приема и передачи информации из входящего тракта в исходящий осуществляется в одном временном интервале (рисунок 2.1).

Для реализации функций пространственной коммутации используются модули пространственной коммутации (МПК).

На рисунке 2.1 показано, что информация из входящего тракта 0 передается в исходящий тракт 10 в первом канальном интервале КИ1, а информация из входящего тракта 10 передается в исходящий тракт 0 в 31 канальном интервале КИ31.

2) *Временная коммутация*, при которой осуществляется процесс передачи информации, принятой в одном временном интервале в течение одного временного интервала (рисунок 2.2).

3) *Пространственно-временная коммутация*, при которой осуществляется процесс передачи информации из одного временного интервала одного входящего тракта в другой временной интервал другого исходящего тракта (рисунок 2.3).

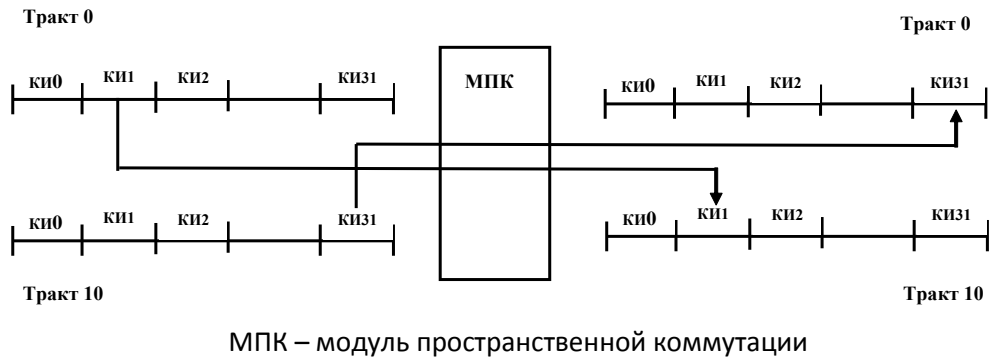


Рисунок 2.1 – Принцип пространственной коммутации

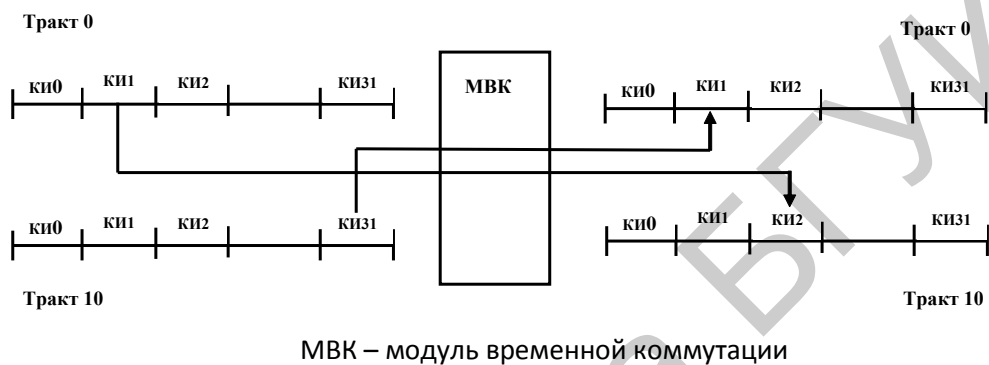


Рисунок 2.2 – Принцип временной коммутации

Для реализации функций пространственной коммутации используются модули временной коммутации (МВК). Поскольку моменты приема и передачи информации разнесены во времени, то процесс коммутации включает в себя время хранения информации, которое не должно превышать времени цикла передачи ( $T_{ц} = 125$  мкс).

На рисунке 2.2 показано, что информация из входящего тракта 0 принимается в КИ1, а передается в исходящий тракт 10 в КИ2. Информация из входящего тракта 10 принимается в КИ31, а передается в исходящий тракт 0 в КИ1.



Рисунок 2.3 – Принцип пространственно-временной коммутации

### 2.3 Особенности коммутационных полей цифровых систем коммутации

Признаками канала в цифровом коммутационном поле являются две координаты:  $S$  – пространственная,  $t$  – временная.

*Пространственная координата* определяется номером  $S_i$  тракта, которому принадлежит канал. *Временная координата* определяется временным интервалом  $t_i$ , который отводится под канал  $K_i$  в общем цикле передачи 125 мкс.

Цифровая коммутация каналов трактов ИКМ является двухкоординатной, а используемые цифровые коммутационные устройства имеют следующие особенности:

1) относятся к классу синхронных устройств, т. е. все процессы на входах и выходах и внутри них согласованы по частоте и по времени;

2) являются четырехпроводными в силу особенности передачи сигналов по ИКМ-трактам.

В цифровом коммутационном поле (ЦКП) для реализации функций пространственной коммутации используются ступени пространственной коммутации ( $S$ -ступени), временной ( $T$ -ступени), пространственно-временной ( $S/T$ -ступени) и кольцевые соединители (разновидность реализации  $S/T$ -ступени).

ЦКП имеют следующие особенности:

1) **Модульность**, что позволяет обеспечить легкую адаптацию системы к изменению емкости, удобство и простоту эксплуатации, технологичность производства за счет сокращения числа разнотипных блоков, а также упрощается управление системой и ее программным обеспечением.

2) **Симметричная структура**, при которой звенья 1 и  $N$ , 2 и  $(N - 1)$ , 3 и  $(N - 2)$  и т. д. являются идентичными по типу и числу блоков. Такое поле является симметричным относительно оси, которая разделяет его на две части. Именно симметричные поля удобнее всего строить на однотипных модулях, поэтому свойства симметричности и модульности являются взаимодополняющими.

3) **Дублирование**. ЦКП почти всегда являются дублированными для повышения надежности. Обе части поля (плоскости) работают синхронно, но для реальной передачи используется только одна из них (активная). Вторая часть находится в «горячем резерве» и в случае необходимости происходит автоматическое переключение.

4) **Четырехпроводность** (в связи с тем, что линии передачи ИКМ-сигналов являются четырехпроводными). Коммутационные поля цифровых систем коммутации (ЦСК) обеспечивают перенос информации между временными каналами приема и передачи и могут быть классифицированы по следующим признакам:

**а) по последовательности преобразования координат:**

- время – время ( $T-T$ );

- время – пространство – время ( $T-S-T$ );

- пространство – время – пространство ( $S-T-S$ );

- время – пространство – пространство – время (Т-S-S-T) и т. п.

**б) по структуре:**

- *однородные*, в которых количество звеньев одинаковое для всех видов соединений (рисунок 2.4);

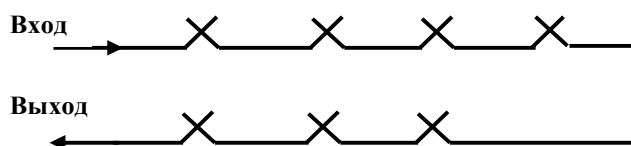


Рисунок 2.4 – Однородное ЦКП

- *неоднородные*, в которых количество звеньев в тракте зависит от адресов входов и выходов (рисунок 2.5);

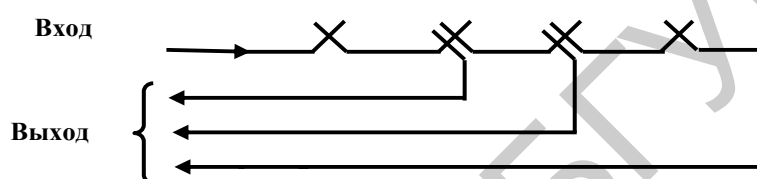


Рисунок 2.5 – Неоднородное ЦКП

**в) по способу включения трактов:**

- *односторонние* (однонаправленные, разделенные (рисунок 2.6));

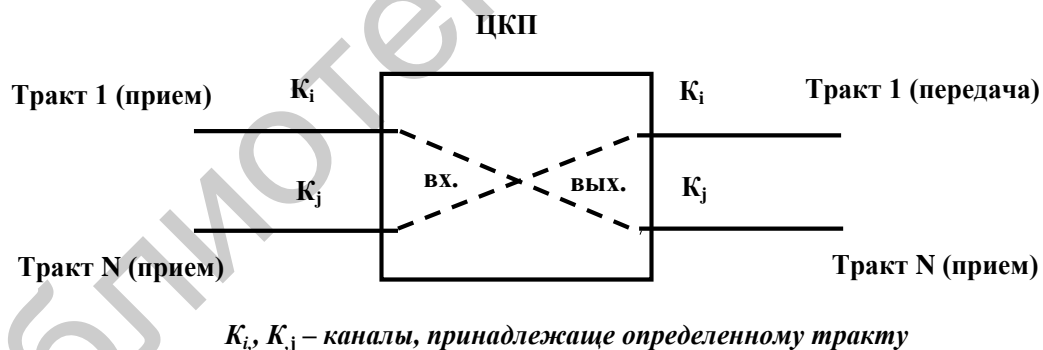


Рисунок 2.6 – Одностороннее ЦКП

- *двухсторонние* (двунаправленные, свернутые (рисунок 2.7)).

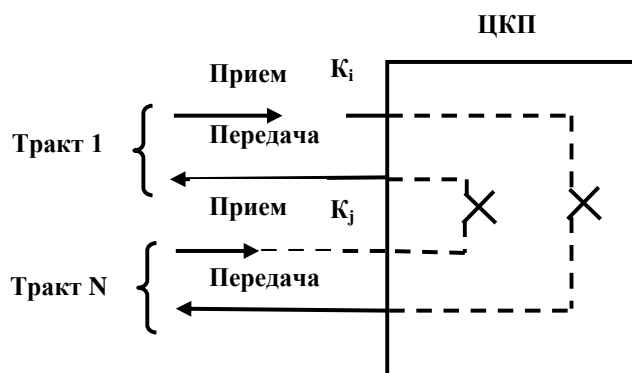


Рисунок 2.7 – Двухстороннее ЦКП

Пространственный коммутатор (S-ступень) может быть реализован в виде матрицы электронных контактов (ЭК), например, логических элементов «И». На рисунке 2.8 показано пространственное коммутационное поле емкостью 32×32 ИКМ-линии, где в строки матрицы включены входящие цифровые линии (ВЦЛ), а в столбцы – исходящие цифровые линии (ИЦЛ).

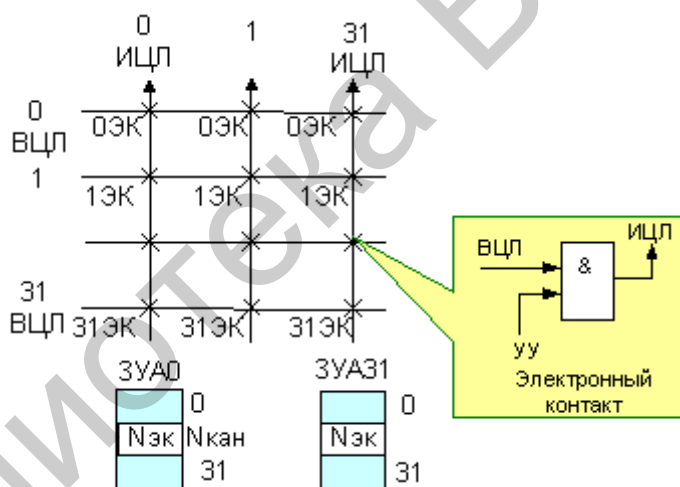


Рисунок 2.8 – Пространственный коммутатор 32×32 ЦЛ

Управление процессом коммутации осуществляется путем считывания адреса входа из адресного запоминающего устройства (ЗУ) синхронно с коммутируемыми каналными интервалами.

Например, осуществим коммутацию четвертого тракта с восьмым по пятому временному каналу.

$$N_{эк} = N_{вх.т} = 4.$$

$$N_{зуа} = N_{исх.т} = 8.$$

$$N_{яч.зуа} = N_{кан.} = 5.$$

$$\text{Содержимое яч.ЗУА} = N_{эк} = 00100.$$

В пятый каналный интервал из ячейки ЗУА 5, номер которой равен номеру коммутируемого канала, считывается номер электронного контакта



(00100=4), четвертый контакт замыкается на время 3,9 мкс и та информация, которая поступала по пятому каналу четвертого входящего тракта, идет в пятый канал восьмого исходящего тракта.

На рисунке 2.9 показан вариант построения пространственного коммутатора  $N \times N$  на мультиплексорах. Он содержит линейку из  $N$  мультиплексоров  $N \times 1$ , входы  $D$  и адресные шины  $A$ , которые запараллелены. Адрес входа и выхода для каждого коммутируемого канального интервала считывается из адресного ЗУ и содержит  $\log_2(N)$  бит адреса входа и  $\log_2(N)$  бит адреса выхода. Адрес входа подается на все мультиплексоры параллельно, а адрес выхода дешифрируется дешифратором  $DC$  и разрешает работу соответствующего мультиплексора, формируя на его входе  $E$  (Enable) разрешающий уровень. Установление соединения осуществляется посредством записи управляющим устройством адресов в соответствующие ячейки памяти адресного ЗУ, разъединение – посредством удаления записей.

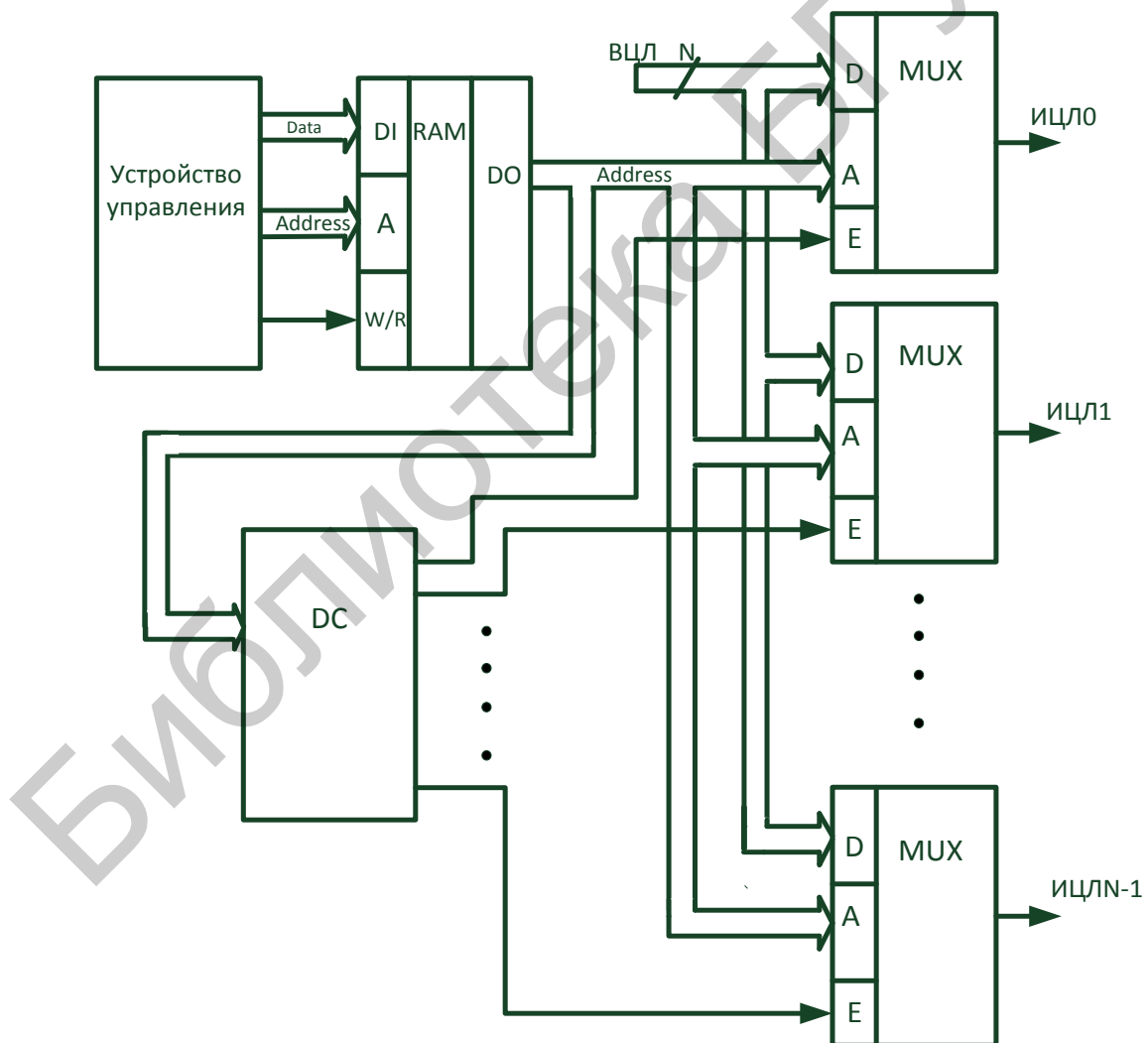


Рисунок 2.9 – Пример построения пространственного коммутатора на мультиплексорах

Другой вариант пространственного коммутатора  $48 \times 48$  представляет собой матрицу демультиплекторов на 16 выходов каждый (рисунок 2.10). Матрица содержит 48 столбцов по три демультиплектора в каждом. Выходы демультиплекторов каждой строки запараллелены и образуют группу из 16 выходов. Адрес, поступающий из адресного ЗУ, должен содержать 4 бита адреса выхода демультиплектора, 2 бита адреса строки и 6 бит адреса столбца матрицы.

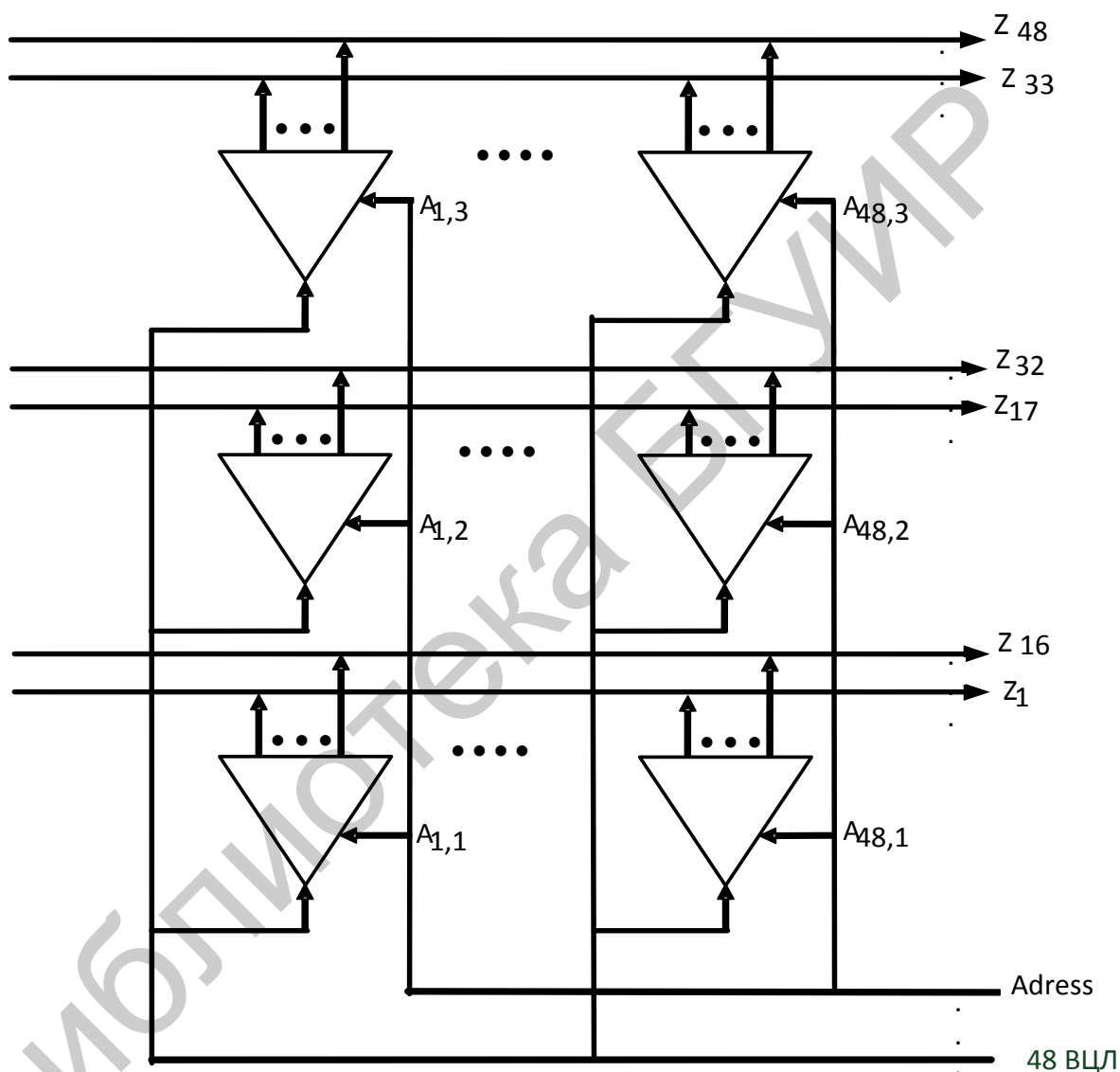


Рисунок 2.10 – Пространственный коммутатор на основе матрицы демультиплекторов

Поскольку пространственные коммутаторы могут коммутировать только одноименные временные каналы, они самостоятельного применения не находят, а используются для построения более сложных коммутационных полей типа время – пространство – время (Т-S-T) и т. п.

В самом общем виде *временной коммутатор* (Т-ступень) содержит два ЗУ – речевое и управляющее (рисунок 2.11). Речевое ЗУ предназначено для

записи/считывания кодовых слов коммутируемых канальных интервалов, а управляющее содержит адреса записи/считывания для ячеек речевого ЗУ. Эти адреса записываются в управляющие ЗУ из управляющих устройств системы коммутации.

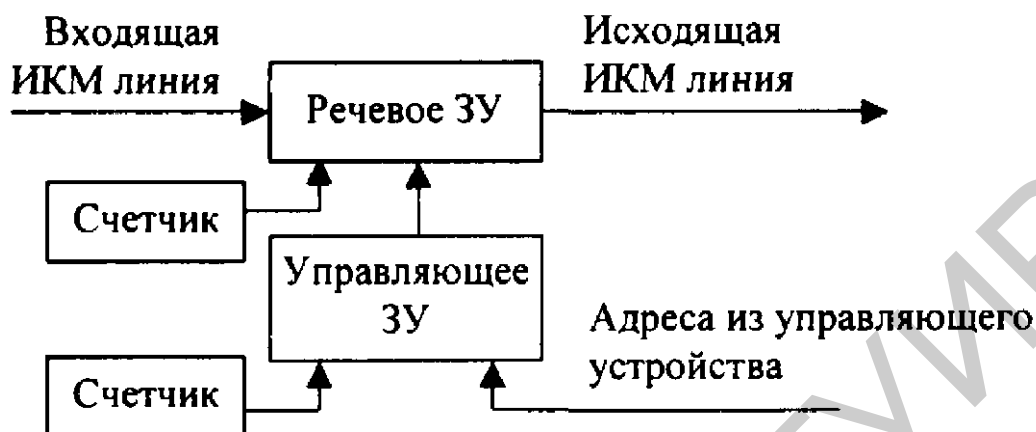


Рисунок 2.11 – Структура временного коммутатора

ЗУ Т-ступени могут работать в двух эквивалентных по результату коммутации режимах: «последовательная запись – произвольное считывание» и «произвольная запись – последовательное считывание».

В режиме «последовательная запись – произвольное считывание» (рисунок 2.12) происходит последовательная запись кодовых слов в речевое ЗУ по сигналам специально организованного счетчика номеров ячеек ЗУ и произвольное считывание из речевого ЗУ по адресам, получаемым либо из управляющего ЗУ, либо из управляющего устройства. В этом случае определенные ячейки памяти закрепляются за соответствующими каналами входящей ИКМ-линии. Информация каждого входящего временного интервала запоминается в последовательных ячейках памяти, что обеспечивается увеличением на 1 содержимого счетчика на каждом временном интервале. Пусть информация из канального интервала 2 должна быть передана в канальный интервал 3. По синхронизирующему сигналу станции, совпадающему с началом канального интервала 0, счетчик речевого ЗУ обнуляется.

Примечание – Здесь предполагается, что структура цикла время-уплотненного группового сигнала внутри Т-ступени остается такой же, как и в ЦСП. В реальных системах коммутации такого ограничения может не быть. Кроме того, канальные интервалы 0 и 16 внутри коммутационного поля могут использоваться для целей передачи внутрисканционных сигналов и являться обычными коммутируемыми каналами.

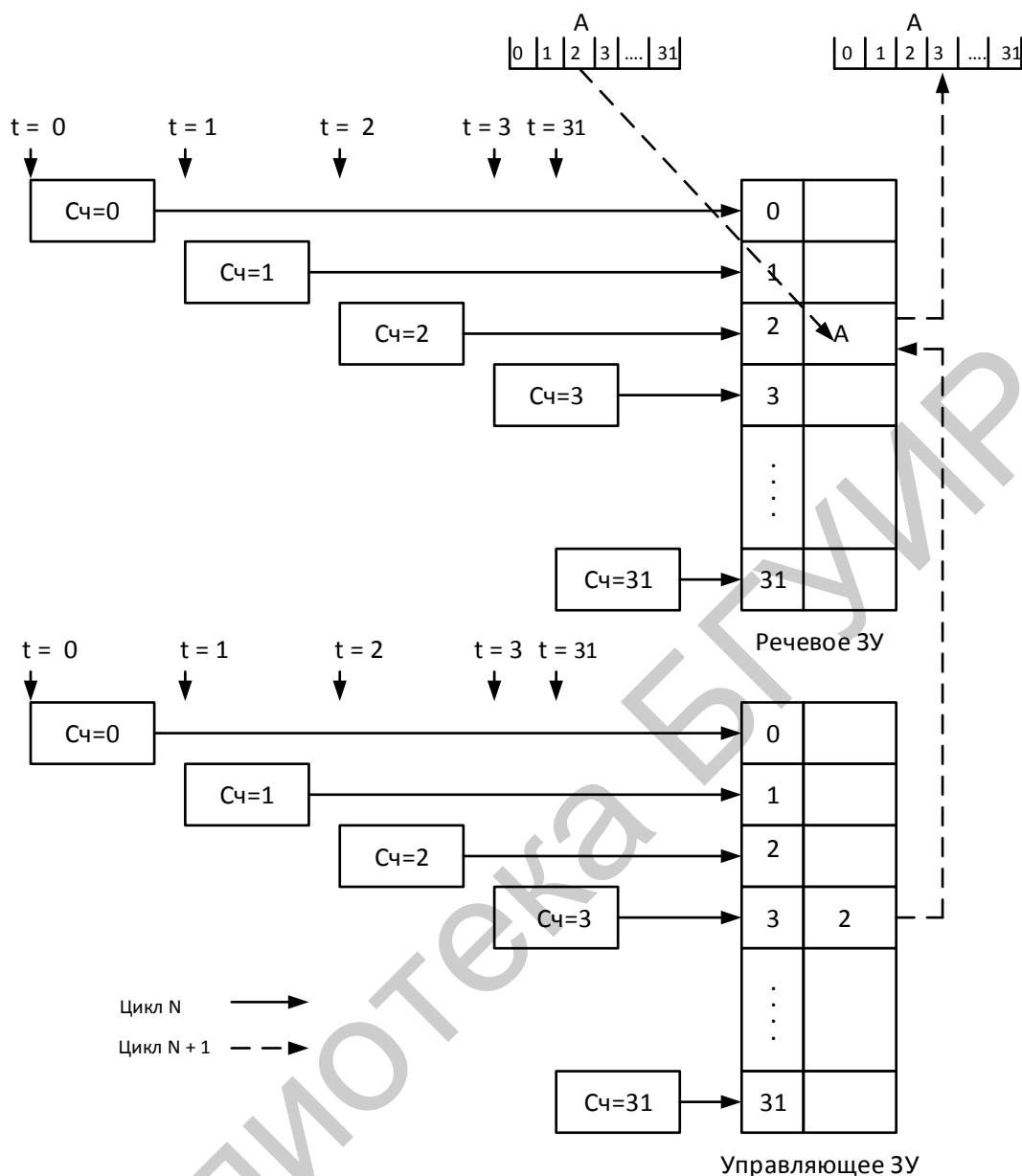


Рисунок 2.12 – Режим «последовательная запись – произвольное считывание»

С помощью последовательного увеличения значения счетчика, формирующего адреса речевого ЗУ, кодированные отсчеты всех каналов цикла записываются в это ЗУ. Тем самым реализуется режим последовательной записи в речевом ЗУ.

В следующем цикле осуществляется режим произвольного считывания. Для этой цели вновь организуется счетчик адресов управляющего ЗУ. Данные адреса записываются в управляющее ЗУ центральным управляющим устройством автоматической телефонной станции (АТС) и определяют адрес считывания для речевого ЗУ. Для рассматриваемого примера при  $Сч = 3$  будет считан адрес 2, сигнал считывания подан по адресу 2 в речевое ЗУ, и

информация канала 2 попадет в каналный интервал 3. Тем самым будет реализован режим произвольного считывания речевого ЗУ.

В режиме «произвольная запись – последовательное считывание» происходит произвольная запись в речевое ЗУ кодовых слов по адресам, вырабатываемым управляющим ЗУ или управляющим устройством системы, и последовательное считывание по сигналам счетчика. В этом случае поступающая на вход информация записывается в ячейки речевого ЗУ в соответствии с адресом, хранящимся в управляющей памяти, а считывание информации производится последовательно, ячейка за ячейкой, под управлением счетчика исходящих временных интервалов. В нашем примере информация, принятая в течение временного интервала 2, записывается непосредственно в речевое ЗУ по адресу 3, откуда автоматически считывается в исходящий канал с номером 3 исходящей ИКМ-линии.

Выбор режима работы Т-ступени зависит от конкретной реализации коммутационного поля.

Пространственно-временная коммутация может быть реализована мультиплексированием цифровых потоков и временной перестановки каналов в пределах общего потока (здесь может быть применено мультиплексирование с чередованием каналов или чередованием блоков).

Пример такого коммутатора (S/T ступени) приведен на рисунке 2.13.

Входящие цифровые линии (например, 32 линии с потоками E1 (32 канала) объединяются мультиплексором MUX в единый поток 1024 канала с чередованием блоков. Поскольку запоминающие устройства, как правило, имеют словарную организацию, последовательный цифровой поток преобразуется в параллельную форму с помощью преобразователя последовательного кода в параллельный (S/P – Serial to Parallel) и под управлением формирователя адреса записи  $A_w$  – счетчика каналных интервалов – записывается последовательно в ячейки памяти речевого запоминающего устройства (РЗУ). Чтение кодовых слов из РЗУ осуществляется под управление адреса чтения  $A_R$ , считываемого из адресного ЗУ (АЗУ) в исходящий порт РЗУ, затем производится преобразование параллельного кода в последовательный (P/S – Parallel to Serial) и демultipлексирование на 32 исходящие цифровые линии.

Рассмотрим пример коммутации тринадцатого канала трех ВЦЛ в двадцать первый канал восьми ИЦЛ: тринадцатый канал трех ВЦЛ в мультиплексированном потоке будет занимать позицию 76 и записан в РЗУ по адресу 76 (0001001100b или 04Ch). Эта информация представляет собой адрес чтения, который должен быть записан в АЗУ по адресу, соответствующему позиции 21 канала в восьми ИЦЛ, т. е. 276 в мультиплексированном потоке (0100010100b или 214h).

Формирование и запись адресов чтения в АЗУ, а также управление записью и чтением и тактирование счетчика каналных интервалов осуществляется устройством управления.

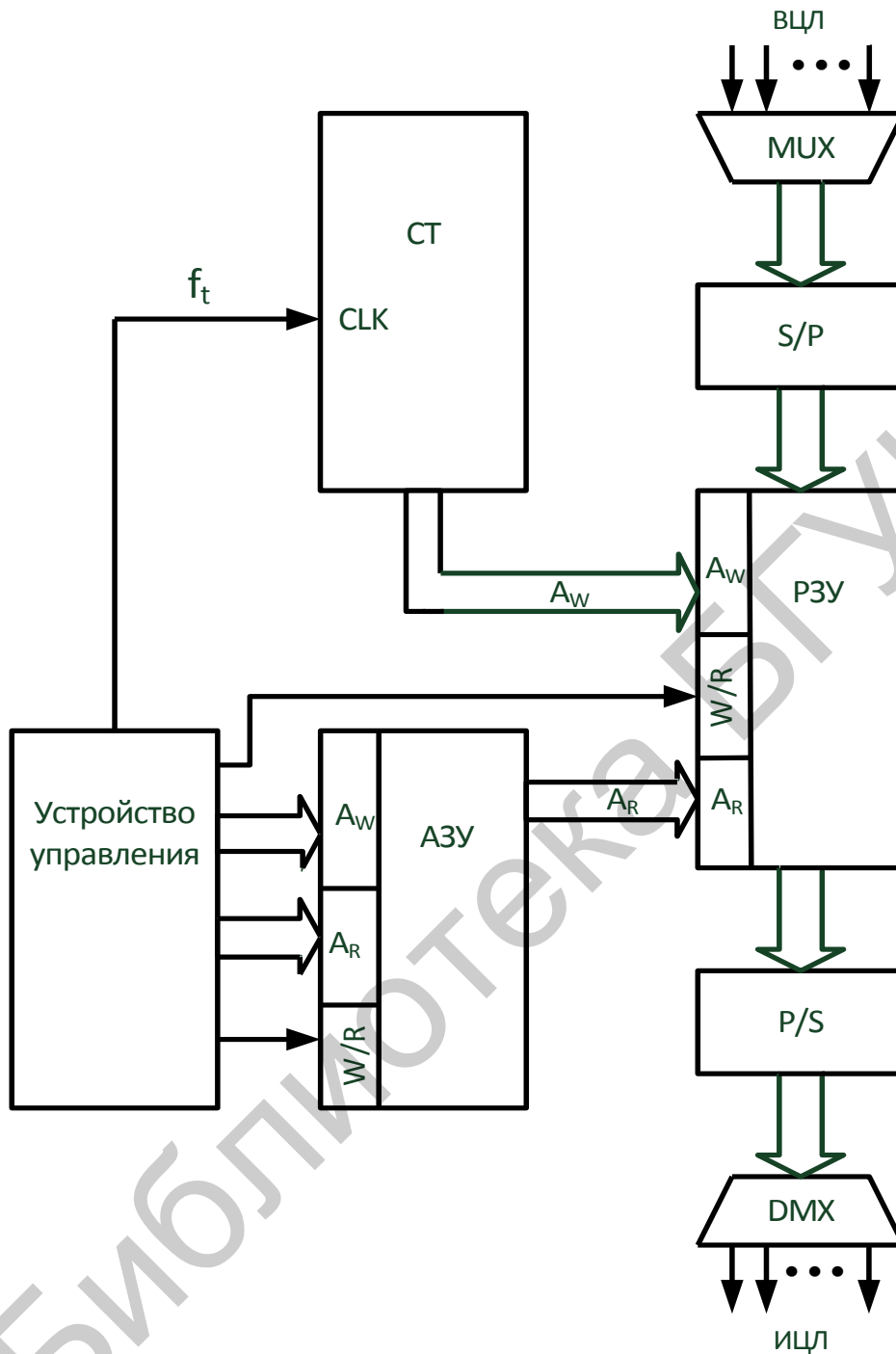


Рисунок 2.13 – КП АТСЭ типа АХЕ-10

Коммутационное поле системы АХЕ-10 построено по трехзвенной схеме структуры «время – пространство – время» (Т-С-Т)» (рисунок 2.14). Звенья А и С содержат по 32 временных коммутатора, коммутирующих по 16 мультиплексированных ИКМ-линий емкостью 512 каналов. Звено В – пространственный коммутатор 32×32 линии, построенный на мультиплексорах.

При установлении соединения управляющее устройство находит свободный временной канал для звена пространственной коммутации и переключает на него входящий канал. В звене пространственной коммутации осуществляется коммутация данного канала на требуемый выход и в исходящем блоке временной коммутации данный канал переключается в требуемую позицию.

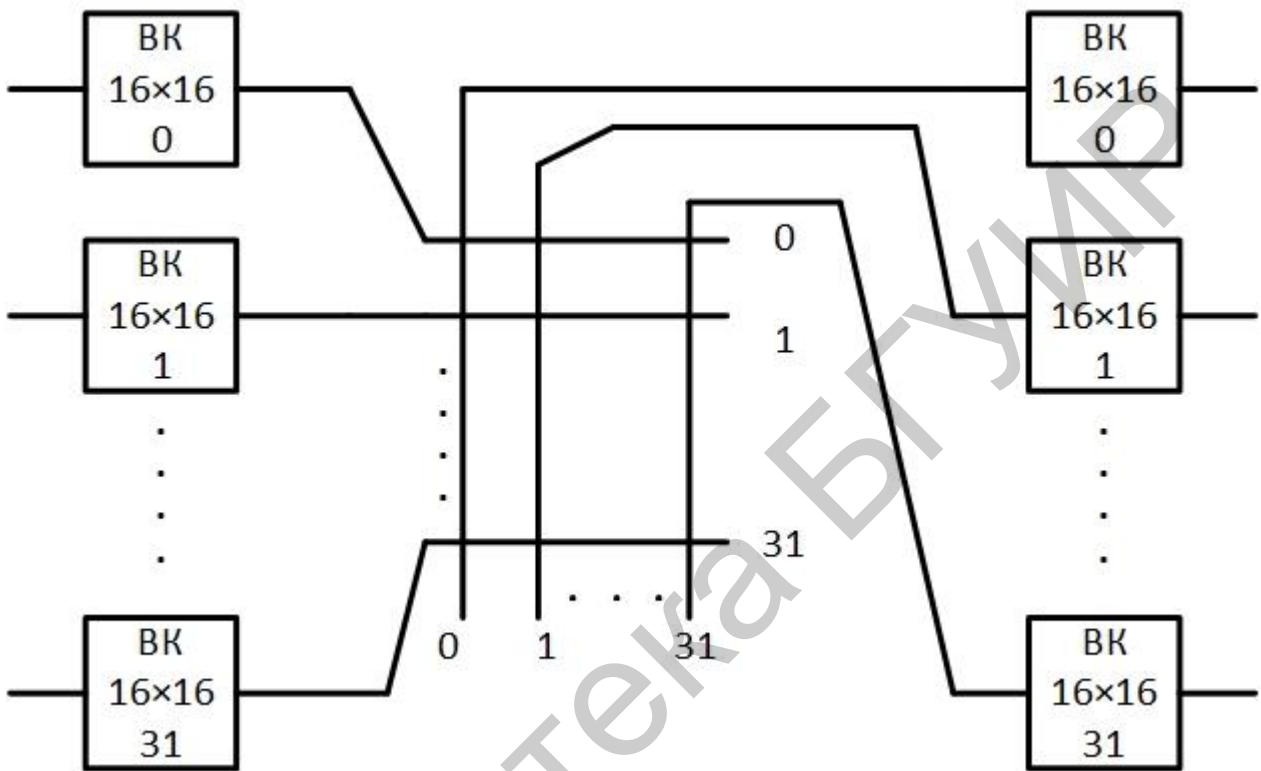


Рисунок 2.14 – Коммутационное поле AXE-10 512x512 ЦЛ

### 3 СИСТЕМЫ КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ

Передача информации в цифровом виде от одного абонента к другому может производиться в одном из следующих режимов переноса:

- канальный (channel);
- пакетный (packet);
- кадровый (frame);
- ячеечный (cell).

Использование общей коммуникационной линии для одновременного обслуживания нескольких соединений называется мультиплексированием. В синхронных системах цифровые сигналы передаются по линии связи с помощью мультиплексирования с разделением по времени (TDM – Time Division Multiplexing). Временное синхронное мультиплексирование заключается в том, что линия связи на короткий промежуток времени, называемый временным каналом, поочередно предоставляется одному из источников информации. Каждому источнику соответствует временной канал со строго фиксированным порядковым номером в пределах цикла передачи. Поэтому для передачи информации от одного источника к другому необходимо произвести коммутацию соответствующих временных каналов, для чего устанавливается соединение входа с выходом системы. Такой режим переноса информации называется канальным. Он обеспечивает хорошее качество передачи речи, но обладает следующими недостатками:

- низкая эффективность использования канала, т. к. после установления соединения емкость коммутированного канала недоступна для других соединений во время сеанса связи, даже если данные не передаются;

- обеспечивается передача информации на постоянной скорости, что ограничивает возможности по подключению абонентских терминалов различной производительности.

Повысить эффективность использования канала связи можно путем предоставления абоненту не всей полосы канала, а лишь только кратковременной возможности для передачи его сообщения целиком. В таком случае связь осуществляется не в реальном масштабе времени, поскольку информация пользователя принимается, накапливается и затем лишь передается. Если в тракте несколько транзитных узлов, то в каждом пункте эти сообщения, состоящие из заголовка и собственно сообщения, принимаются, накапливаются



и при наличии свободных путей затем передаются дальше в соответствии с их адресом, находящимся в заголовке. Таким образом, неизбежна задержка информации, которая делает режим передачи сообщений непригодным для речевого обмена.

Пакетный и его производные режимы переноса информации (кадровый и ячеечный) способны устранить эти недостатки. Для этого все сообщение (обычно большой длины) разбивается на небольшие части одинакового объема, называемые пакетами. Каждому пакету присваивается определенный порядковый номер, а в заголовке устанавливается одинаковый адрес получателя. Пакеты могут передаваться через сеть или коммутационный блок по различным свободным путям и в любом порядке, однако в вызываемом пункте пакеты принимаются и затем записываются в первоначальном порядке так, чтобы восстановилось исходное сообщение. При этом возможна задержка пакетов, однако она будет значительно меньше, чем в случае передачи сообщений, поскольку длительность переприема каждого из более коротких пакетов меньше, чем сообщения целиком.

Коммутаторы пакетной сети отличаются от коммутаторов каналов тем, что они имеют внутреннюю буферную память для временного хранения пакетов, если выходной порт коммутатора в момент принятия пакета занят передачей другого пакета. В этом случае пакет находится некоторое время в очереди пакетов в буферной памяти выходного порта, а когда до него дойдет очередь, он передается следующему коммутатору. Такая схема передачи данных позволяет сглаживать пульсацию трафика на магистральных связях между коммутаторами и тем самым наиболее эффективно использовать их для повышения пропускной способности сети в целом.

Сеть с коммутацией пакетов замедляет процесс взаимодействия конкретной пары абонентов. Их пакеты могут ожидать в коммутаторах, пока по магистральным связям передаются другие пакеты, пришедшие в коммутатор ранее.

Тем не менее общий объем передаваемых сетью компьютерных данных в единицу времени при технике коммутации пакетов будет выше, чем при технике коммутации каналов. Это происходит потому, что пульсации отдельных абонентов в соответствии с законом больших чисел распределяются во времени так, что их пики не совпадают. Поэтому коммутаторы постоянно и достаточно равномерно загружены работой, если число обслуживаемых ими абонентов действительно велико. На рисунке 3.1 показано, что трафик, поступающий от

конечных узлов на коммутаторы, распределен во времени очень неравномерно. Однако коммутаторы более высокого уровня иерархии, которые обслуживают соединения между коммутаторами нижнего уровня, загружены более равномерно, и поток пакетов в магистральных каналах, соединяющих коммутаторы верхнего уровня, имеет почти максимальный коэффициент использования. Буферизация сглаживает пульсации, поэтому коэффициент пульсации на магистральных каналах гораздо ниже, чем на каналах абонентского доступа – он может быть равным 1:10 и более.

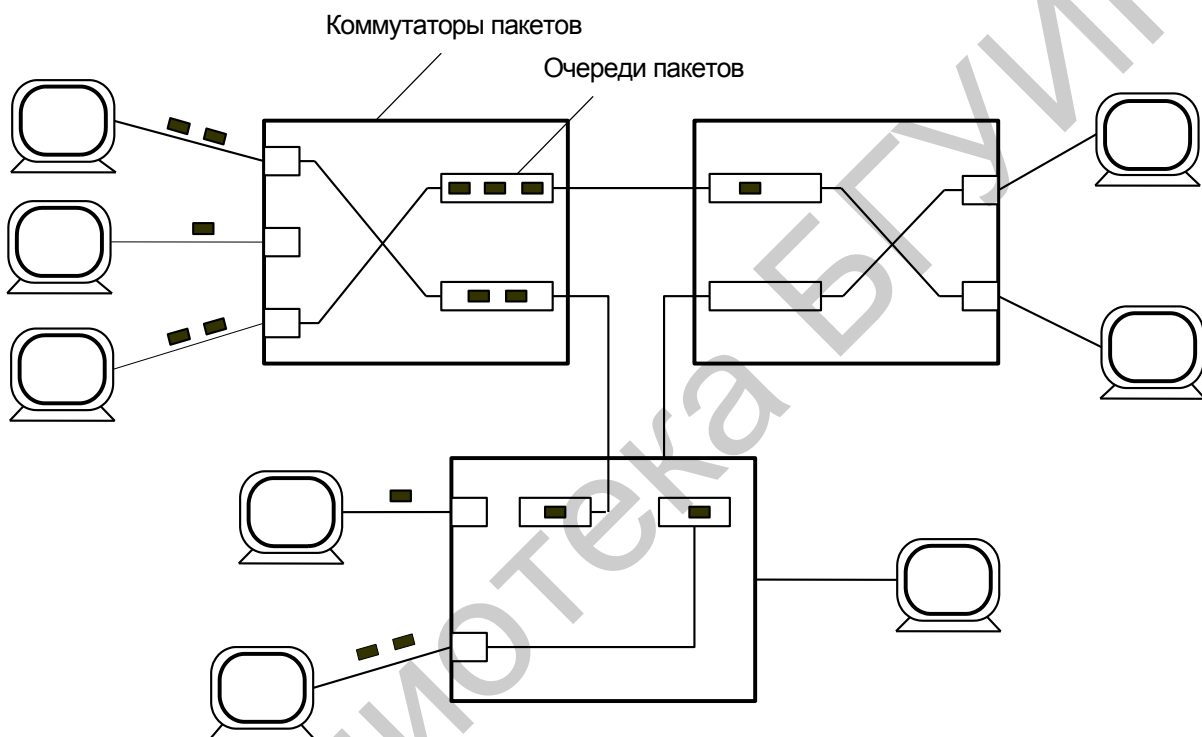


Рисунок 3.1 – Коммутация пакетов

Коммутация пакетов имеет следующие преимущества перед коммутацией каналов:

- эффективное использование канала, поскольку при использовании системы приоритетов можно динамически перераспределять ресурсы канала между пакетами от различных источников (пакеты с высоким приоритетом будут доставляться с меньшими задержками);

- возможно преобразование скорости передачи данных, что обеспечит возможность обмена информации между источниками, подключенными каналами разной пропускной способности;

- нет отказов в соединении, даже если сеть перегружена, а лишь могут возникнуть задержки с доставкой информации.

В основном используется размер пакетов в 128 байт, но могут быть и другие (256, 512...4096). Для некоторых технологий в одном сеансе передачи длина пакетов может изменяться в зависимости от загруженности канала.

Для широко известного протокола передачи пакетов X.25 характерна многоуровневая система обнаружения и коррекции ошибок, что позволяет решать проблемы плохих каналов связи. На пути движения пакета проверяется его целостность и если по контрольной сумме, передаваемой в заголовке пакета, невозможно его восстановление, то посылается запрос о повторной передаче пакета. Поэтому высокий уровень помех в линии заметно снижает скорость передачи.

Для линий с низким уровнем помех применяется протокол передачи кадров Frame Relay, в котором значительно уменьшена избыточность кодировки и упрощена система заголовков (меньше служебной информации). Здесь производится проверка не каждого пакета в отдельности, а только адресного поля всего кадра (группы пакетов, оформленных в кадр). Таким способом достигается скорость передачи до 2 Мбит/с.

В технологии АТМ (Asynchronous Transfer Mode) передача информации производится пакетами фиксированной длины в 53 байта, из которых 5 байт отводится для заголовка, а 48 байт – для информации пользователя. Такие пакеты называются ячейками (cell), которые не оформляются в кадр. Ячейки передаются по каналу непрерывно, даже если нет передачи информации («пустые» ячейки). Они выполняют функцию «транспорта» по доставке информации. В отличие от синхронного временного мультиплексирования, где для передачи сообщения используются фиксированные тайм-слоты (time slot) через равные промежутки времени (длительность цикла), в АТМ источнику информации ячейки для транспортировки данных могут предоставляться неравномерно, в зависимости от потребности в скорости передачи или от возможностей канала связи в данный момент времени.

В случае передачи информации пакетами, кадрами или ячейками говорят об асинхронном режиме переноса информации, который характеризуется тем, что не требуется осуществлять синхронизацию на протяжении всего тракта передачи от начального пункта до конечного. Достаточно обеспечить синхронную передачу последовательности битов только между соседними пунктами.

### **3.1 Принципы построения пакетного коммутатора**

В узлах коммутации пакетов функции коммутации, а в данном случае «маршрутизации», могут выполняться одним процессором, где пакеты обрабатываются в многопрограммном режиме. Часть обработки состоит в анализе адресной части заголовка пакета и направлении его по соответствующему адресу маршрута. Однако для повышения производительности применяются либо многопроцессорные системы, либо специальные коммутационные системы с многочисленными входами и

выходами, где обеспечивается параллельная обработка большого числа одновременно коммутируемых пакетов. Такие коммутаторы могут быть как электронные, так и оптические и делятся на три типа:

- коммутаторы с общей шиной (временным разделением);
- коммутаторы с общей памятью;
- коммутаторы с пространственным разделением.

Шина с временным разделением называется также иногда высокоскоростной шиной. На рисунке 3.2 показан коммутационный элемент (КЭ), представляющий собой шину с временным разделением. Данный КЭ имеет  $N$  входов, так называемых приемных портов, и  $N$  выходов – передающие порты, соединенные друг с другом шиной с временным разделением. Шина с временным разделением с топологической точки зрения эквивалентна структуре «звезда». Скорость передачи информации по шине выбирается выше, чем скорость передачи ее по входам. Каждому входному порту приписывается временной канал с такими же характеристиками, как канал в шине. Если шина имеет  $N$  временных каналов, то максимальное время ожидания передачи информации, передаваемой к некоторому порту, будет равно  $N$  временных интервалов.

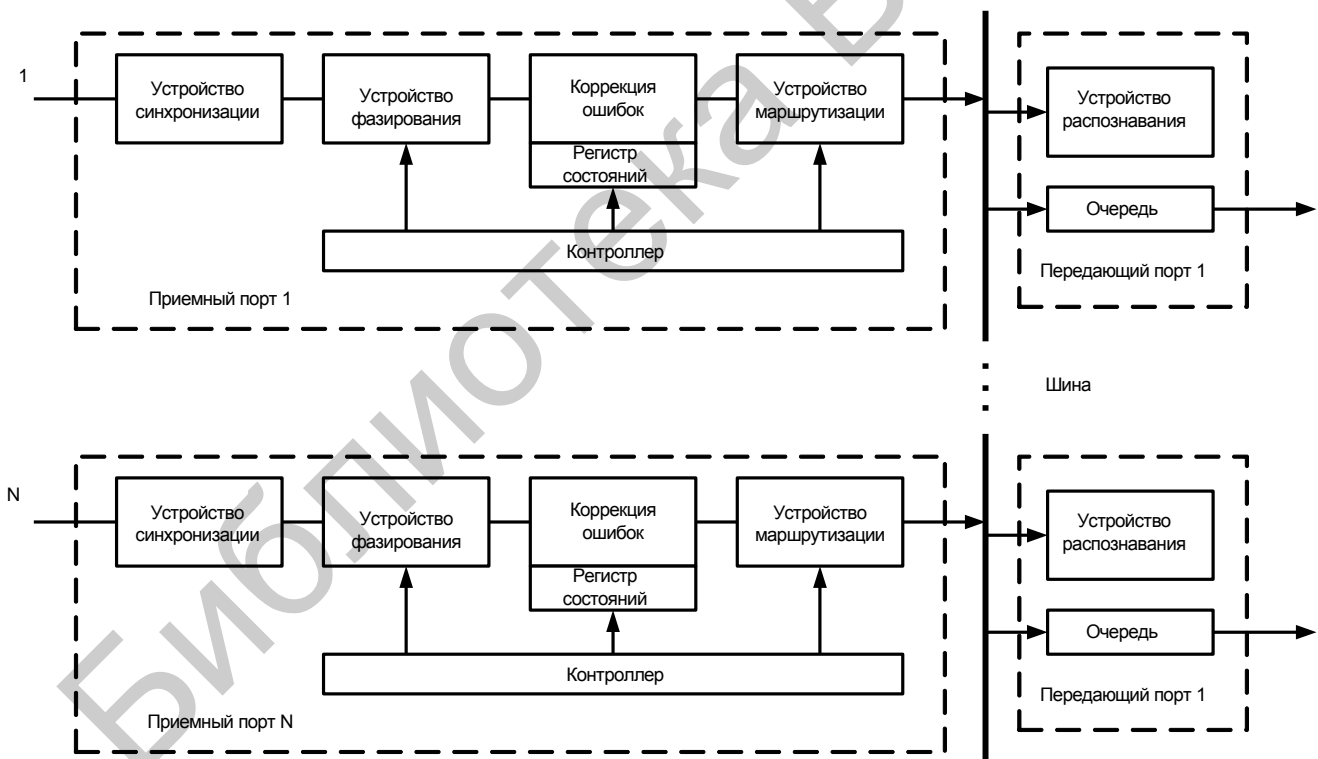


Рисунок 3.2 – Коммутационная система с общей шиной

В приемном порту осуществляется фазовая и пакетная синхронизация, а в некоторых случаях – проверка на ошибки заголовка ячейки и маршрутизации. Следует отметить, что приемный порт обрабатывает информацию большее количество времени, чем порт передачи. Приемный порт обрабатывает одну ячейку за один цикл, в то время, когда порт передачи должен иметь возможность обрабатывать максимум  $N$  ячеек за один цикл (кадр). Кроме того, в порте

передачи должны быть предусмотрены места ожидания (очередь) для хранения ячеек, а также блок управления нагрузкой. Необходимость наличия мест ожидания обусловлена тем обстоятельством, что передача ячеек из приемных портов может осуществляться в один и тот же порт передачи. Прием или отказ требования передачи на логический канал с некоторой пропускной способностью определяется работой блока управления нагрузкой порта передачи. Для создания КЭ, построенного по принципу шины с временным разделением, можно использовать технологию существующих синхронных систем передачи.

*Восприимчивость КЭ шинного типа к ошибкам.* Рассматриваемый тип КЭ мало чувствителен к аппаратным ошибкам, если надежность самой шины достаточно высока. Естественно, в случае нарушения синхронизации приемных портов будет иметь место неправильное присвоение временных каналов, что в результате приведет к полному нарушению работы коммутатора.

Перегрузка самого коммутатора невозможна, однако возможна перегрузка исходящего звена, что обнаруживается по перегрузке исходящего буфера.

Большим достоинством КЭ является его пригодность для широковещательного, многоточечного и распределенного видов обслуживания. Такой коммутатор, исходя из принципа его работы, достаточно просто поддерживает эти виды сервиса.

*Матрица из шин с временным разделением.* Для построения коммутатора можно применить принцип пересекающихся шин данных, использующихся в регулярных матричных архитектурах. Пример такого матричного коммутатора из шин представлен на рисунке 3.3. Вход и выход этой системы реализуется с помощью шин с временным разделением. Каждая точка коммутации определяет индивидуальную входную и выходную шину. В отличие от обычного пространственного коммутатора точка коммутации в этой системе выполняет значительно более интеллектуальные функции.

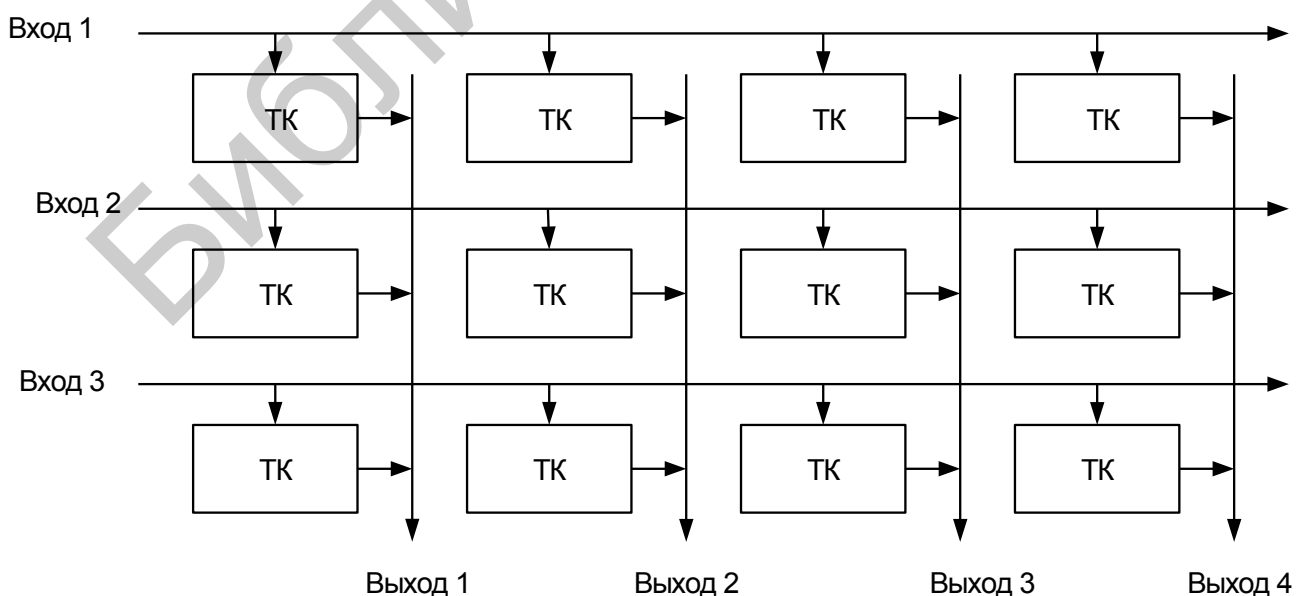


Рисунок 3.3 – Матричная структура с общей шиной

Основные функции точки коммутации ориентированы на информационный поток входных шин. В частности, точкой коммутации осуществляется проверка заголовка ячейки, а именно определяется, будет ли маршрутизирована ячейка на исходящую шину, соответствующую точке коммутации. Работа точки коммутации зависит от принципа функционирования исходящей шины. Наиболее распространенными являются два принципа функционирования, основанные соответственно на последовательном и параллельном доступах.

*Последовательный доступ* (случай шины). Выходная шина, работающая как обычная шина с временным разделением, показана на рисунке 3.4, а. В этом случае точка коммутации будет ожидать пустой канал и, обнаружив его, передаст ячейку в выходную шину. При таком способе функционирования должен быть организован приоритет доступа входов. Этот приоритет организуется следующим образом: точка коммутации, ближайшая к генератору временных каналов, имеет наивысший приоритет и поэтому имеет монополярный доступ к шине. Уровень приоритета может меняться от «точки к точке».

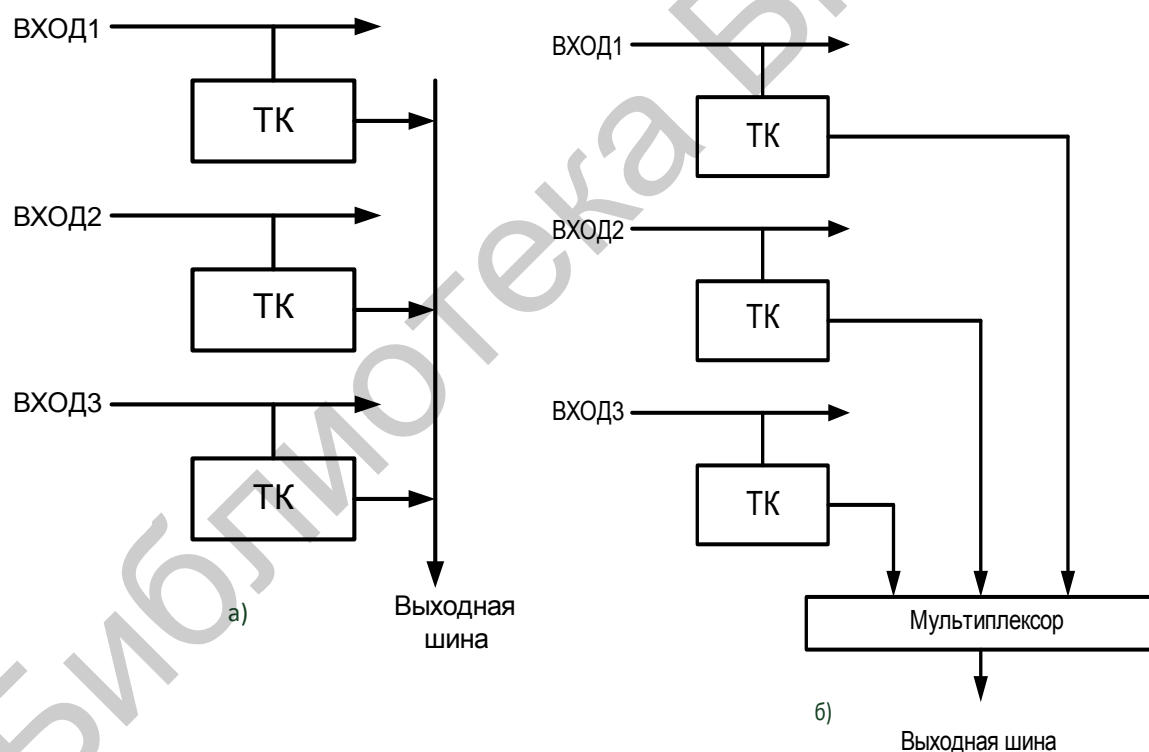


Рисунок 3.4 – Общая шина с последовательным (а) и параллельным (б) доступом

*Параллельный доступ* (случай с использованием мультиплексора). Структурная схема выходной шины, функционирующей с использованием мультиплексора, показана на рисунке 3.4, б.

В этом случае необходимо центральное управление для каждого выхода. Управляющее устройство решает, какая из точек коммутации может пропустить

следующую ячейку на выходную шину. В частности, простейшей процедурой управления может быть процедура циклического обслуживания. При параллельном доступе возможно введение буфера на выходе. Этот буфер может быть общим для всех точек коммутации, относящихся к определенной исходящей шине, и он позволит лучше использовать общую буферную емкость шины. Однако такой буфер сохраняет необходимость использования накопителей в каждой точке пересечения. Накопитель в точках пересечения задерживает ячейки до тех пор, пока они не будут считаны в мультиплексор.

Требования ограничения доступности из-за технологических причин при проектировании шинного коммутатора отсутствуют. Однако имеется ограничение, связанное с проблемой синхронизации потока ячеек в области высоких скоростей, а также ограничение на размер и время доступа к памяти. В области высоких скоростей передачи информации (до нескольких Гбит/с) есть возможность организации большого числа виртуальных каналов на один вход. При таких скоростях требуется большой объем памяти для каждой точки коммутации, необходимый для анализа заголовков. Анализ большой памяти в конечном счете может привести к ограничению пропускной способности коммутатора.

*Сложность матрицы из шин с временным разделением.* Так как число точек коммутации в матрице, представленной рисунке 3.3, увеличивается пропорционально квадрату ее емкости и поскольку сама точка коммутации является в определенном смысле интеллектуальной, то представляется мало реалистичным проектирование коммутатора с большим числом входов и выходов. Кроме того, дальнейшее усложнение точки коммутации за счет расширения ее функции будет вызывать ограничение скорости передачи по шинам.

Большим преимуществом матрицы, показанной на рисунке 3.3, является использование уплотненных шин, что позволяет обеспечить гибкость в отношении скорости передачи бит и размера заголовков по различным входам и выходам. Это объясняется возможностью организации различного числа виртуальных каналов. Кроме того, обработка информации по этим шинам может быть осуществлена полностью независимо. В таких системах имеется возможность изменять некоторые части коммутатора, не затрагивая остальные его элементы.

*Коммутационная система (КС) с общей памятью.* Система с общей памятью представляет собой структуру типа «звезда» (рисунок 3.5). Так как КС реализуется в виде системы с общей памятью, то фактически принцип работы такой КС совпадает с принципом работы блока временной коммутации многокаскадных КС.

Очевидно, что необходимость в асинхронной коммутации накладывает определенные требования к конструкции КС. Так, например, для ускорения работы коммутатора предусмотрен переход с последовательного на параллельный код, и используется супермультиплексирование (сверхуплотнение). Особенность системы состоит в организации управления

коммутатором. Все заголовки ячеек мультиплексируются в специальный массив заголовков.

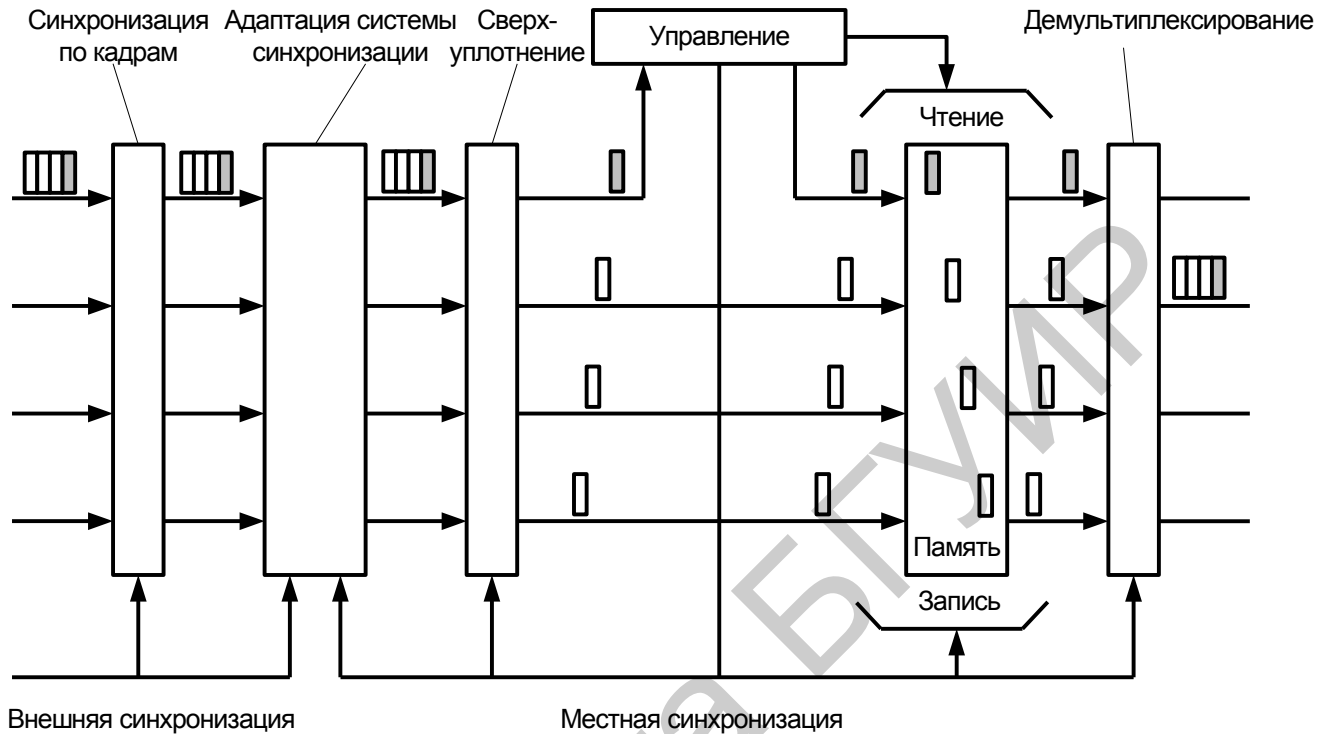


Рисунок 3.5 – Коммутационная система с общей памятью

Хотя все пакеты и обрабатываются по принципу «первый пришел, первый обслужился» (FIFO), тем не менее сохраняются все требования к временному и фазовому выравниванию. Что касается блокировок, то в обычном смысле слова такой коммутатор является неблокируемым. Коммутатор с общей памятью позволяет осуществлять точечные и многоточечные соединения, такие как конференция и ширококвещание.

*Многокаскадные коммутационные системы.* Необходимость очень быстрой в реальном масштабе времени обработки большого объема данных при решении многих задач реализовалась на основе идеи параллельной обработки с распределенными процессорами. Для решения этой задачи использовали КС специальной структуры. Такие системы можно использовать как в режиме коммутации каналов (КК), так и в режиме коммутации пакетов. В некоторых случаях их используют в режиме гибридной коммутации. Учитывая особенности таких систем коммутации, их можно применять для коммутации широкополосных каналов и, в частности, в системах асинхронно-временной коммутации. Различные фирмы и исследовательские центры проводили изучение возможности применения таких систем для блоков коммутации пакетов. Данные КС имеют несколько каскадов и произвольное число входных и выходных портов (входов-выходов).



Каждый каскад КС содержит несколько КЭ, которые соединены друг с другом звеньями. Ветвь между входом и выходом КС представляет собой последовательность звеньев и КЭ.

Многокаскадные КС можно построить небуферированные и буферированные. Небуферированные КС работают, как правило, в режиме коммутации каналов. В соответствии с методологией режима КК физические ветви в КС фактически используются для передачи ячеек между соответствующей парой вход-выход.

Буферированные многокаскадные КС используют классический принцип КП. Соединение через КС устанавливается не предварительно, а на последовательной основе через все каскады по принципу звено за звеном. По этой причине оказывается необходимым введение буферизации на каждом каскаде, для того чтобы запоминать ячейки, которые должны ожидать состояния доступности исходящего звена. Так как в буферированных КС соединение устанавливается по принципу звено за звеном, то легко осуществить маршрутизацию с помощью самих ячеек. Такой способ получил название самомаршрутизация. Известно большое число типов самомаршрутизирующихся КС.

*Коммутационная система с одним промежуточным путем между парой вход-выход.* Системы, в которых существует единственный промежуточный путь между парой вход-выход, могут иметь любую емкость, а соединения осуществляются через смежные каскады. Такие КС называются системами типа баньян (КС-Б). Различают несколько типов сетей Баньяна.

КС-Б, в которых число входов  $N$  равно числу выходов  $M$ , получили название прямоугольных систем. Эти системы характеризуются следующими свойствами:

- все соединения устанавливаются через смежные каскады;
- все КЭ имеют одну и ту же емкость:  $n$  входов и  $m$  выходов;
- число коммутаторов каждого каскада  $k = N/n$ ;
- число каскадов  $S = \log_n N$ .

Часто прямоугольные КС типа баньян, в которых установление соединения осуществляется на основе числового управления, называются дельта-системами. Для них характерно побитовое управление, которое также называется самомаршрутизацией.

Так как число каскадов системы  $S = \log_n N$ , то каждый выход может быть закодирован  $S$ -разрядными цифрами. Эти коды представляют собой адреса точки назначения, приписываемые ячейкам, проходящим через систему коммутации. Предполагается, что путь между любым входом и выходом может быть найден за  $S$  шагов. Пример такой процедуры показан рисунке 3.6. В этом случае адрес точки назначения состоит из 3 бит.

Предположим, что требуется передать ячейку, поступившую по входу с номером 0 второго коммутатора первого звена, на выход с номером 0 второго коммутатора последнего звена. Данный выход будет иметь код 010. Поэтому дополнительный адрес, приписываемый ячейке, будет также 010.

В соответствии с этим адресом в самомаршрутизирующей дельта-системе во втором коммутаторе первого каскада будет осуществлено соединение типа транзит, т. е. нулевой вход этого коммутатора будет соединен с нулевым выходом. В первом коммутаторе второго каскада будет осуществлено соединение типа транзит первого входа с первым выходом. И, наконец, во втором коммутаторе третьего каскада будет также осуществлено соединение типа транзит, т. е. нулевой вход второго коммутатора будет соединен с нулевым выходом. Это соединение показано сплошной жирной линией на рисунке 3.6.

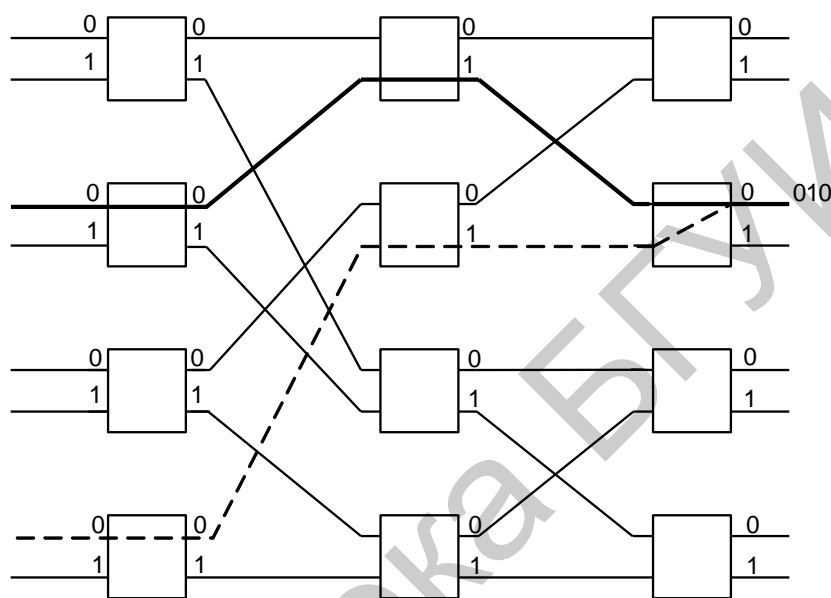


Рисунок 3.6 – Установление соединения в дельта-системе

Если теперь потребуется установить соединение между входом 0 четвертого коммутатора первого каскада и выходом 0 второго коммутатора третьего каскада, то маршрут будет выбираться по-прежнему в соответствии с двоичным кодом выхода 010. Этот маршрут на рисунке 3.6 изображен пунктирной линией. Особенностью этого маршрута является то, что во втором коммутаторе третьего каскада требуется установление соединения типа кросс, т. е. вход с номером 1 должен быть соединен с выходом 0. Если на входах 2 и 6 появятся одновременно ячейки, требующие маршрутизации на выход 2, то возникает конфликт, и должно быть принято решение о блокировке одной из ячеек.

Рассматриваемая схема не является симметричной и свойство самомаршрутизации оказывается справедливым, если соединение устанавливается от входов к выходам. Система не обладает свойством самомаршрутизации, если соединение устанавливать от выходов ко входам.

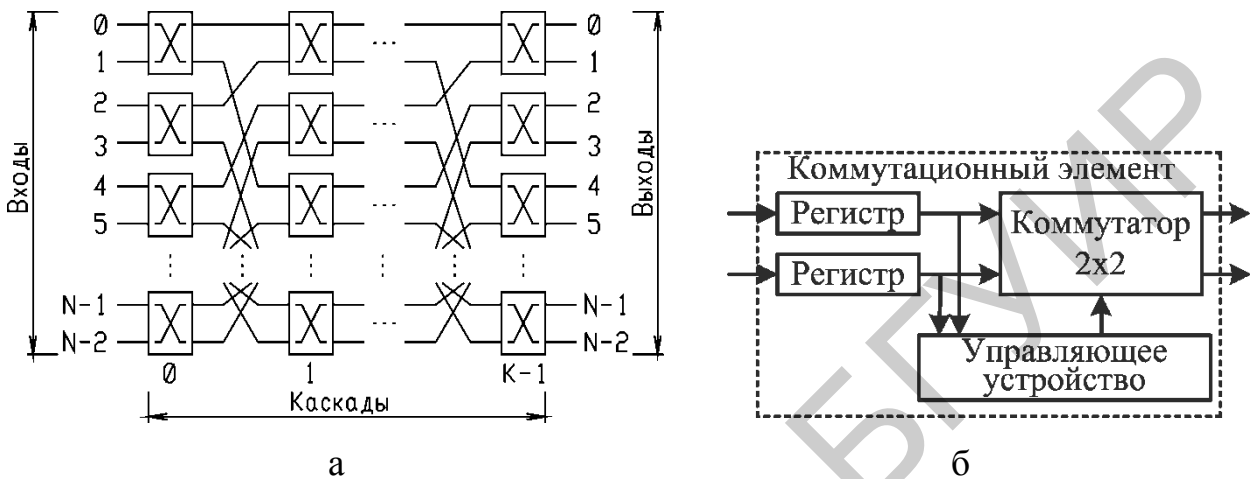
Прямоугольная дельта-система емкостью  $N \times N$  ( $N$  входов и  $N$  выходов) состоит из  $K$  каскадов, число которых определяется выражением

$$K = \log_2 N.$$

Каждый каскад содержит  $M$  коммутационных элементов, емкостью  $S \times S$ , число которых определяется выражением

$$M = N/S.$$

Параметр  $S$  определяет связность коммутационного элемента в дельта-системе и мерность коммутационной системы в целом. Наибольшее распространение получили дельта-системы, имеющие  $S = 2$ , благодаря простоте управления процессом самомаршрутизации пакетов (рисунок 3.7).



а – структура дельта-системы; б – структура коммутационного элемента

Рисунок 3.7 – Дельта-система,  $S = 2$

Вероятность блокировки пакета в дельта-системе определяется вероятностью блокировки в последовательном соединении  $K$  коммутационных элементов в соответствии с выражением

$$P = 1 - (1 - P_E)^K,$$

где  $P_E$  – вероятность блокировки пакета в коммутационном элементе.

При последовательном соединении каждый коммутационный элемент дельта-системы может быть представлен моделью однозвенного пространственного коммутатора емкостью  $S \times 1$  с интенсивностью поступления потока нагрузки по каждому входу  $\lambda/S$  и интенсивностью ухода  $\mu = 1$ . Предполагая, что нагрузка на входе коммутатора распределена по нормальному закону, при небольших значениях  $S$  для расчета  $P_E$  можно использовать формулу Энгсета:

$$P_E = (A \cdot C_S) / (1 + A \cdot C_S); \quad A = \lambda / (\mu \cdot S); \quad C_S = S! / (S - 1)!$$

Из этих выражений следует, что основным недостатком дельта-системы является достаточно высокая вероятность блокировки. Для ее уменьшения используется промежуточная буферизация пакетов между каскадами дельта-системы. Это приводит к увеличению структурной сложности коммутатора, а также росту величины, непостоянству и непредсказуемости задержки передачи пакетов через коммутатор. Единственной возможностью минимизации величины задержки пакетов в коммутаторе является обеспечение множества промежуточных путей между каждым входом и выходом. В коммутаторах на основе дельта-системы множество промежуточных путей может быть организовано за счет параллельного включения

нескольких дельта-систем. Модифицированная дельта-система представлена на рисунке 3.8.

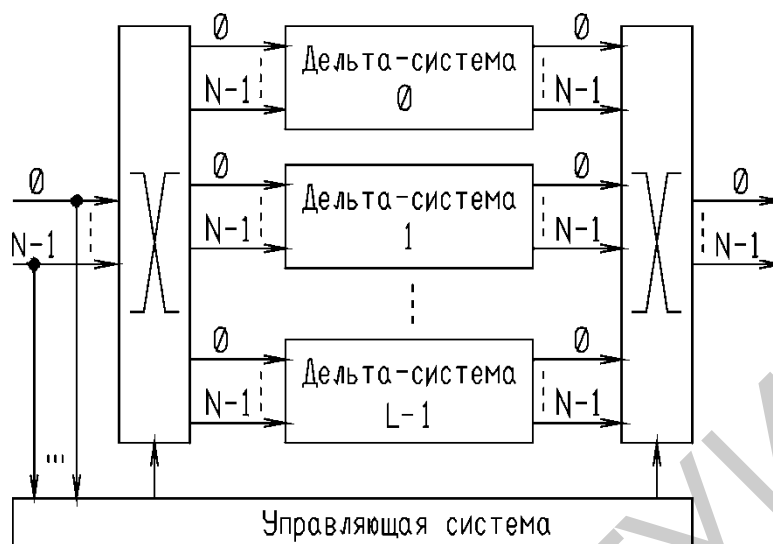


Рисунок 3.8 – Структура модифицированной дельта-системы

По сравнению с другими самомаршрутизирующими коммутаторами с несколькими промежуточными путями модифицированная дельта-система имеет относительно низкую производительность из-за централизованного управления процессом распределения пакетов между дельта-системами.

*Коммутационные системы с несколькими промежуточными путями.* В КС с несколькими промежуточными путями (КС НПП) существует более чем один путь между парой вход-выход. В то время как КС с одним промежуточным путем между парой вход-выход характеризуются высокой вероятностью блокировки, система КП НПП позволяет минимизировать вероятность блокировки и в некоторых случаях делать систему неблокируемой. Однако улучшенные характеристики КП достигаются более высокой сложностью аппаратных средств. При этом в большинстве случаев теряется свойство самомаршрутизации, что делает необходимым введение централизованного устройства маршрутизации.

Рассмотрим основные структурные особенности коммутационных систем с несколькими промежуточными путями между парой вход-выход.

Класс перестановочных систем включает в себя системы, структура которых способна гарантировать  $N!$  отображений входов на выходы. Другими словами, такие системы могут осуществлять соединения входов с выходами в любых комбинациях при условии, если не возникает ситуация, когда два входа одновременно потребуют соединения с одним и тем же выходом.

Перестановочные системы называют также перестраиваемыми, если существующие соединения можно переустановить так, что всегда будет установлено новое соединение между требуемым входом и выходом. Если новое соединение можно установить без перестроений, то такие системы называют неблокируемыми.

Система с сортировкой (Batcher system) представляет собой пример неблокируемой системы с распределенным управлением. Эта система, называемая также сортирующей системой (Sorting system), дает возможность передавать к выходам любые произвольные последовательности пакетов, поступающие на ее входы в соответствии с адресами назначения.

Каждый КЭ сравнивает адреса входящих ячеек и распределяет ячейку с наивысшим разрядом адреса к нулевому выходу, а ячейку с низшим разрядом адреса – к первому выходу. Так как распределение ячеек осуществляется по принципу каскад за каскадом путем сравнения адресов, то системе с сортировкой не нужно централизованное устройство управления. Однако распределенное управление требует большого числа каскадов. Фактически система емкостью  $N \times N$  требует  $\log_n N(\log_n N + 1)/2$  каскадов. Пример системы Бэтчера  $8 \times 8$  показан рисунке 3.9.

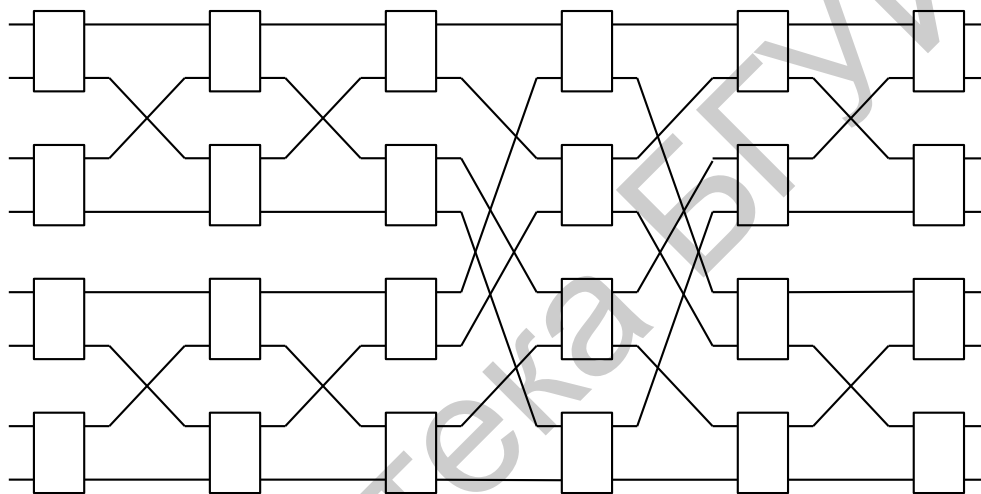


Рисунок 3.9 – Схема системы Бэтчера  $8 \times 8$

Классическим примером КС с перестроениями являются системы Бенеша. Пример системы Бенеша показан на рисунке 3.10. Эта система имеет  $2\log_n N - 1$  каскадов и  $N/n$  путей между соединяемыми входами и выходами.

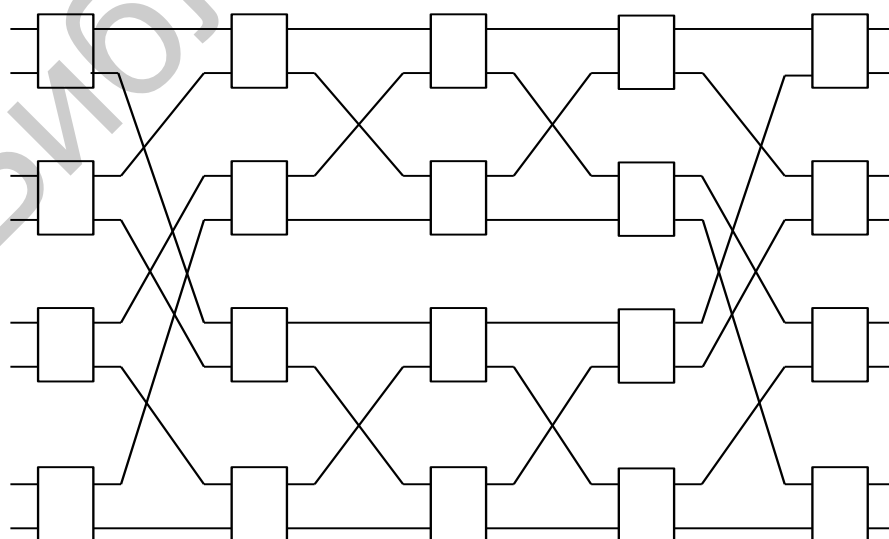


Рисунок 3.10 – Коммутационная система Бенеша

## 4 СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

### 4.1 Классификация протоколов сигнализации

**Сигнализация** – совокупность аппаратно-программных средств, обеспечивающих обмен сообщениями, связанными с управлением сетью в течение сеанса связи.

Прием, передача, обработка линейных и управляющих сигналов при взаимодействии коммутационных станций друг с другом является основным содержанием процесса установления соединения, выполняемого управляющими устройствами коммутационных систем.

**Протокол сигнализации** – набор правил, в соответствии с которым осуществляется обмен сигналами управления сетью.

Обслуживание вызова включает в себя три области применения сигнализации (рисунок 4.1):

- 1) *абонентская* – на участке между оконечным устройством и коммутационной системой;
- 2) *внутристанционная* – между различными блоками внутри коммутационной системы;
- 3) *межстанционная* – между различными коммутационными системами в сети.

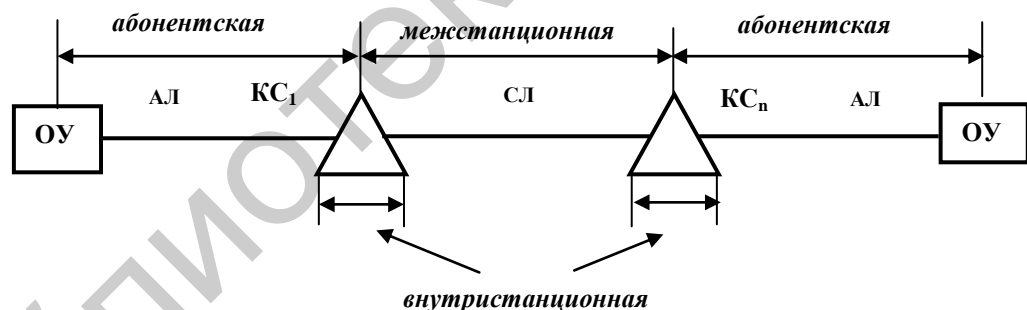


Рисунок 4.1 – Виды сигнализации в телефонных сетях

Сигналы, передаваемые по телефонным каналам, по своему функциональному назначению подразделяются на три группы:

1) *линейные* – сигналы, которые определяют этапы установления соединения (занятие, ответ, отбой);

2) *управляющие (регистровые, или сигналы маршрутизации)* – сигналы, передающие адресную информацию для маршрутизации вызовов к месту назначения (информация о номере вызываемого абонента, информация о категории и номере вызывающего абонента и др.);

3) *информационные акустические* – сигналы, извещающие абонента о том, на каком этапе находится процесс установления соединения (ответ станции, посылка вызова, контроль посылки вызова, занято и др.).

Любое сообщение характеризуется:

- 1) *способом передачи или физическим носителем* (видом электрических сигналов, в которых сообщение отображено);
- 2) *семантикой* – смысловым содержанием, которое представлено кодом.

В существующих системах сигнализации можно проследить использование следующих кодов:

- **декадный (ДК)**, в котором значение сигнала определяется по количеству импульсов в десятичной системе счисления;
- **полярно-числовой (ПЧК)**, в котором значение сигнала определяется по количеству и полярности элементарных посылок (импульсов постоянного тока);
- **многочастотный (МЧК)**, в котором значение сигнала определяется по составу частот (например, код «2 из 6», код DTMF («2 из 8»)).

В таблицах 4.1 и 4.2 показаны типы и области применения линейной и регистровой сигнализации.

Таблица 4.1 – Типы линейной сигнализации

Тип сигнализации	Применение
2ВСК для раздельных пучков	ГТС
2ВСК для универсальных двухсторонних СЛ	СТС
1ВСК индуктивный код	СТС
Одночастотная сигнализация	Внутризоновые и ведомственные сети
Двухчастотная сигнализация	Междугородная сеть

Таблица 4.2 – Типы регистровой сигнализации

Тип сигнализации	Применение
Многочастотная «импульсный челнок»	Везде
Многочастотная «безынтервальный пакет»	Между АТС и АМТС (пакет АОН)
Многочастотная «импульсный пакет»	Между ЦСК и АМТСЭ
Декадный код	Везде
Полярно-числовой код	Между АТСК 100/2000

#### 4.2 Абонентская сигнализация

*Взаимодействие оконечного устройства с системой коммутации.* Абонентская сигнализация применяется на участке между оконечным устройством и коммутационной системой. На данном участке могут передаваться следующие сигналы:

- 1) линейные:

- *вызов станции (занятие)*, который соответствует переходу абонентского шлейфа из разомкнутого состояния в замкнутое при снятии телефонной трубки абонентом;

- *ответ абонента*, который соответствует переходу абонентского шлейфа из разомкнутого состояния в замкнутое при снятии трубки вызываемым абонентом;

- *отбой* – соответствует переходу абонентского шлейфа в разомкнутое состояние при возвращении трубки на рычаг телефонного аппарата;

- 2) управляющие – адресные сигналы;

- 3) информационные акустические:

- *ответ станции (ОС)* – информирует абонента о возможности набора номера (непрерывный тональный сигнал частотой  $(425 \pm 25)$  Гц);

- *посылка вызова (ПВ)* – информирует вызываемого абонента о входящем вызове (посылка вызывного тока в виде периодической передачи сигнала частотой  $(25 \pm 2)$  Гц, периодом 5 с и напряжением  $(95 \pm 5)$  В);

- *контроль посылки вызова (КПВ)* – информирует вызывающего абонента о том, что линия вызываемого абонента свободна (тональный сигнал частотой  $(425 \pm 25)$  Гц, периодом 5 с);

- *занято* – информирует абонента о том, что попытка установления соединения по различным причинам окончилась неудачей или абонент на противоположной стороне повесил трубку (прерывистый тональный сигнал частотой 425 Гц, периодом 0,3 с);

- *информационные сигналы*, которые передаются абонентам при предоставлении дополнительных видов обслуживания (ДВО), например, сигнал уведомления о входящем вызове.

На рисунке 4.2 представлена диаграмма последовательности обмена сигналами в процессе обслуживания внутристанционного вызова.

*Передача номера абонента по абонентской линии.* В настоящее время на телефонной сети используются два способа набора номера вызываемого абонента: *импульсный* (декадным кодом) и *тональный* (многочастотным кодом).

При *импульсном наборе* импульсы посылаются путем поочередного размыкания и замыкания абонентского шлейфа (цепи постоянного тока) со скоростью 10 импульсов в секунду. Длительность размыкания (бестоковой посылки) равна 60 мс, а длительность замыкания (токовой посылки) равна 40 мс. Для того чтобы определить конец одной цифры и начало следующей, межсерийный интервал должен быть не менее 200 мс. Число размыканий или замыканий до межсерийного интервала соответствует цифре номера. На рисунке 4.3 представлена временная диаграмма передачи цифр 2 и 4 импульсным набором номера.



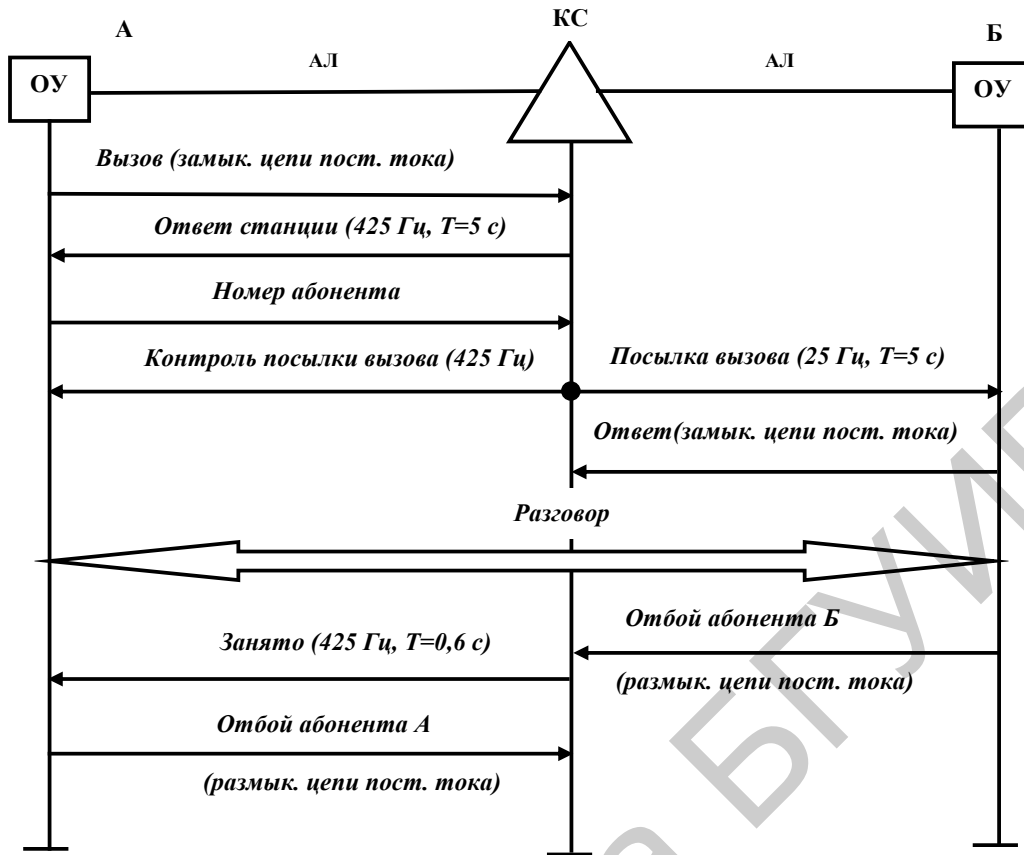


Рисунок 4.2 – Диаграмма обмена сигналами в процессе обслуживания внутростанционного вызова

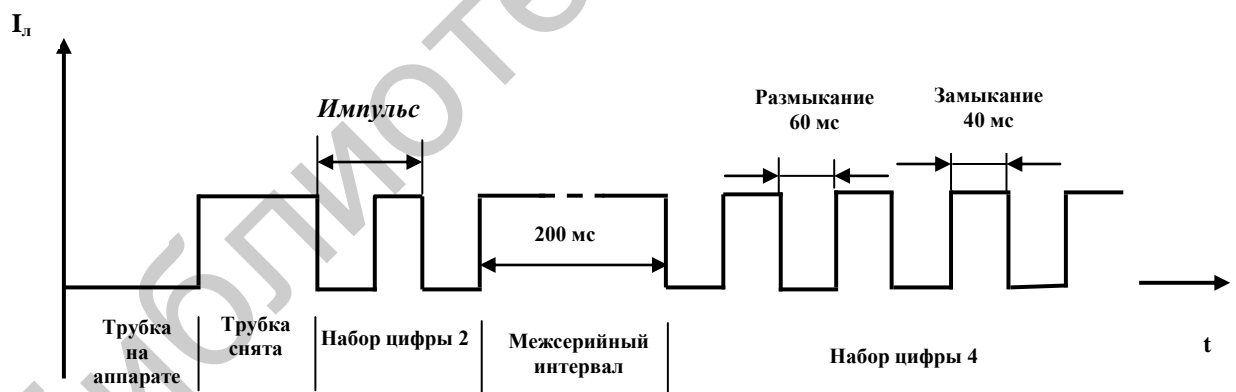


Рисунок 4.3 – Временная диаграмма передачи цифр 2 и 4 импульсным набором

Для передачи адресной информации *тональным набором* используют многочастотный код «2 из 8». Сигнальные частоты выбираются из двух отдельных групп частот звукового диапазона (рисунок 4.4).

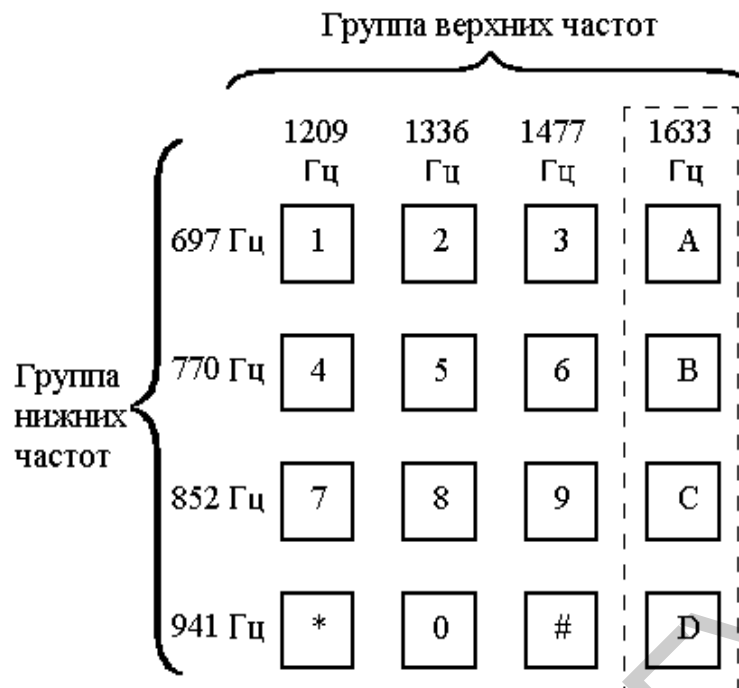


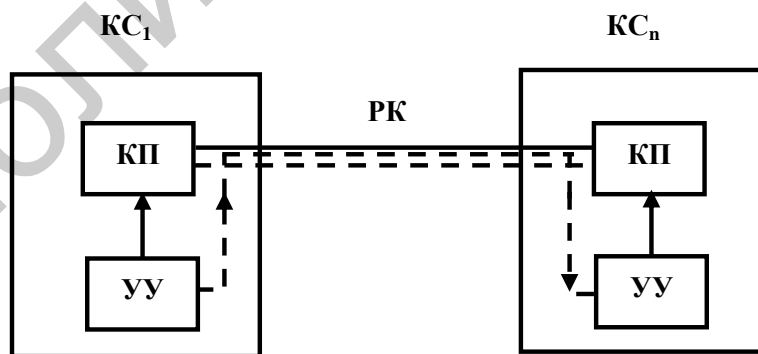
Рисунок 4.4 – Клавиатура телефонного аппарата

Каждый сигнал содержит две сигнальные частоты. Одна из частот выбирается из нижней группы, вторая частота – из верхней. Частота 1633 Гц (кнопки А, В, С, D) используется для реализации дополнительного набора функций (например, в мини-АТС).

### 4.3 Системы межстанционной сигнализации

Различают три класса систем межстанционной сигнализации:

1) Внутриканальная (внутриполосная) сигнализация – передача сигнальной информации непосредственно по разговорному каналу (рисунок 4.5).

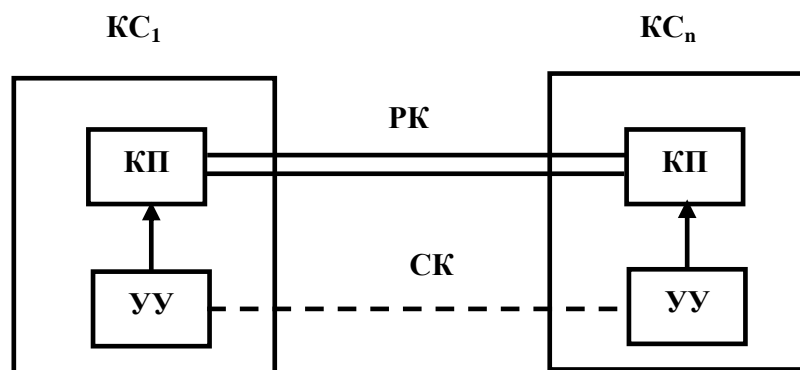


*УУ – управляющее устройство*

*----- Сигнальная информация*

Рисунок 4.5 – Внутриканальная сигнализация

2) Сигнализация по выделенным сигнальным каналам (ВСК) – передача сигнальной информации по выделенному сигнальному каналу (рисунок 4.6).



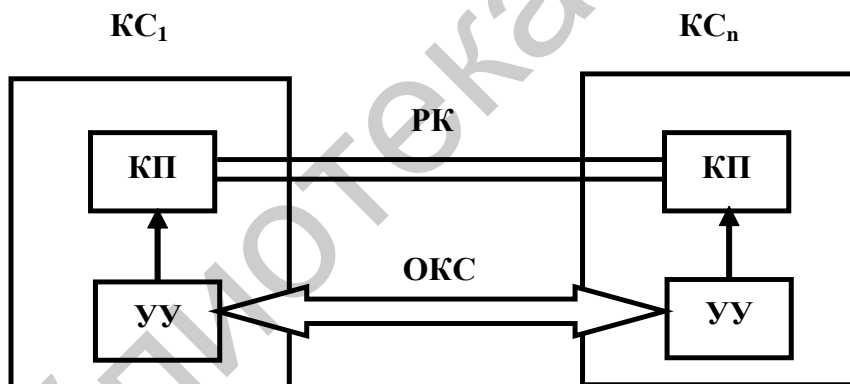
*СК – сигнальный канал*

Рисунок 4.6 – Сигнализация по выделенному сигнальному каналу

Сигнальные каналы могут быть отделены от разговорных:

- *в пространстве* (пространственное разделение);
- *во времени* (временное разделение);
- *по частоте* (частотное разделение).

3) Системы общеканальной сигнализации – передача сигнальной информации по каналу сигнализации, закрепленному за группой разговорных каналов (рисунок 4.7).



*ОКС – общий канал сигнализации*

Рисунок 4.7 – Сигнализация по общему каналу

За группой разговорных каналов закрепляется высокоскоростной канал передачи, по которому сигнальные сообщения передаются в порядке очереди.

Существует два **метода реализации систем сигнализации**:

1) «Из конца в конец», при котором сигнальная информация, необходимая для установления соединения, передается во все коммутационные системы с исходящего конца (рисунок 4.8).

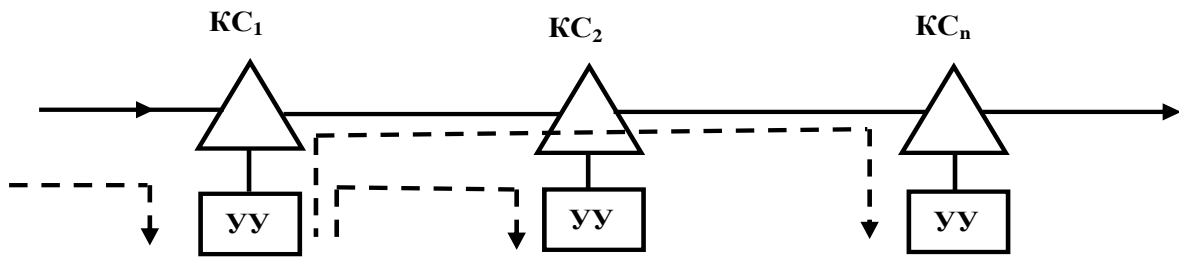


Рисунок 4.8 – Сигнализация «из конца в конец»

Транзитные КС и оконечная КС в обработке адресной информации не участвуют.

2) «От звена к звену», при котором информация, необходимая для установления соединения, передается между управляющими устройствами коммутационных систем и обрабатывается на каждой станции (рисунок 4.9).

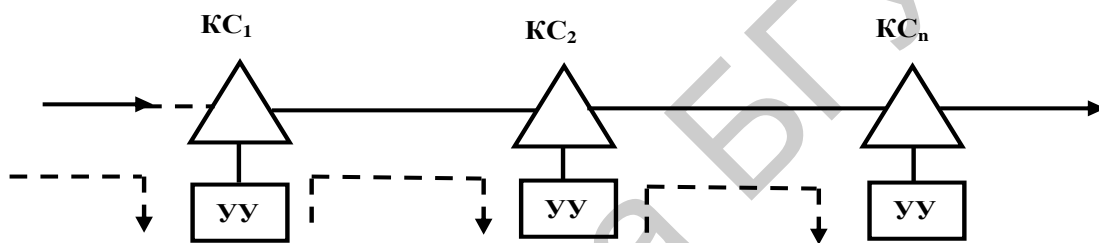
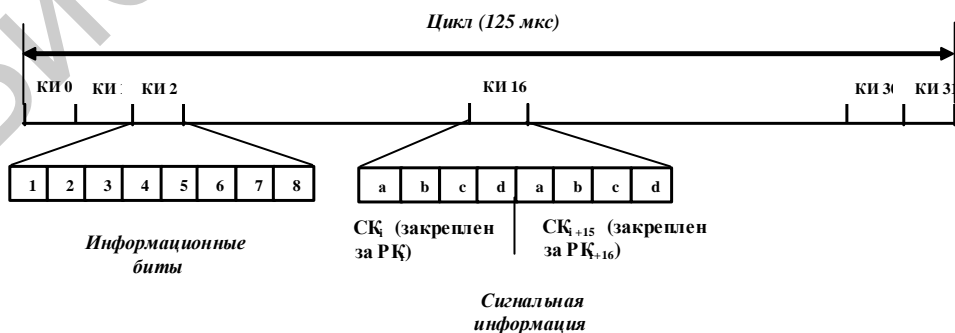


Рисунок 4.9 – Сигнализация «от звена к звену»

#### 4.4 Сигнализация 2ВСК

Сигнализация типа 2ВСК (по двум выделенным сигнальным каналам) может быть реализована путем передачи сигналов в каналах систем ИКМ. Цикловая структура цифрового потока зависит от применяемых стандартов (ИКМ-30, ИКМ-24, ИКМ-15). На рисунке 4.10 показана цикловая структура цифрового потока в стандарте ИКМ-30. Набор сигналов, передаваемых по ВСК, представлен в таблице 4.3.



КИ – канальный интервал  
РК – разговорные каналы

Рисунок 4.10 – Цикловая структура цифрового потока в стандарте ИКМ-30

Таблица 4.3 – Набор сигналов, передаваемых по ВСК

Состояние цепи	Направление	ИКМ-сигнализация							
		Прямое направление				Обратное направление			
	$\Rightarrow\Leftarrow$	a	b	c	d	a	b	c	d
Исходное состояние	–	1	1	0	1	0	1	0	1
Занятие	$\Rightarrow$	1	0	0	1	0	1	0	1
Подтверждение занятия	$\Leftarrow$	1	0	0	1	1	1	0	1
Абонент свободен	$\Leftarrow$	1	0	0	1	1	0	0	1
Ответ	$\Leftarrow$	1	0	0	1	1	1	0	1
Отбой	$\Leftarrow$	1	0	0	1	1	0	0	1
Разъединение	$\Rightarrow$	1	1	0	1	1	0	0	1
Освобождение	$\Leftarrow$	1	1	0	1	1	0	0	1
Занято	$\Leftarrow$	1	0	0	1	0	0	0	1
Сброс	$\Rightarrow$	0	0	0	1	0	0	0	1
Блокировка	$\Leftarrow$	1	1	0	1	1	1	0	1
Набор	$\Rightarrow$	0/1	0	0	1	1	1	0	1
Вызов	$\Rightarrow$	0	0	0	1	1	0	0	1
Ответ/запрос АОН	$\Leftarrow$	1	0	0	1	1	0	0	1
Снятие запроса	$\Leftarrow$	1	0	0	1	1	1	0	1

В цикле передачи аппаратуры ИКМ-30 организуется 32 канальных интервала.

**Канальный интервал (КИ)** – промежуток времени, отводимый для передачи кодовой группы одного канала. Нулевой канальный интервал используется для цикловой синхронизации. КИ 1–15 и 17–31 используются для передачи информации пользователя (8 бит).

При использовании ВСК необходима идентификация разговорного канала, к которому относится тот или иной сигнал линейной или регистровой

сигнализации, что осуществляется фиксацией положения сигнальных битов. Сигналы, имеющие отношение к соответствующему разговорному каналу, всегда передаются битами, размещенными в специально назначенной временной позиции.

В 16-м канальном интервале передается сигнальная информация для двух разговорных каналов ( $РК_i$  и  $РК_{i+16}$ ). Для каждого разговорного канала используется и закрепляется четыре сигнальных бита (a, b, c, d). Для организации передачи сигнальной информации о состоянии 30 разговорных каналов организуется сверхцикл сигнализации, состоящий из 16 циклов.

В 16-м КИ нулевого цикла передается сверхцикловой синхросигнал, от которого ведется отсчет сигнальных каналов. В 16-м КИ первого цикла передается по четыре сигнальных бита для РК 1 и 16, в 16-м КИ второго цикла передается по четыре сигнальных бита для РК 2 и 17 и т. д. Так как сверхцикл содержит 16 циклов по 125 мкс, то длительность сверхцикла равна 2 мс (рисунок 4.11).

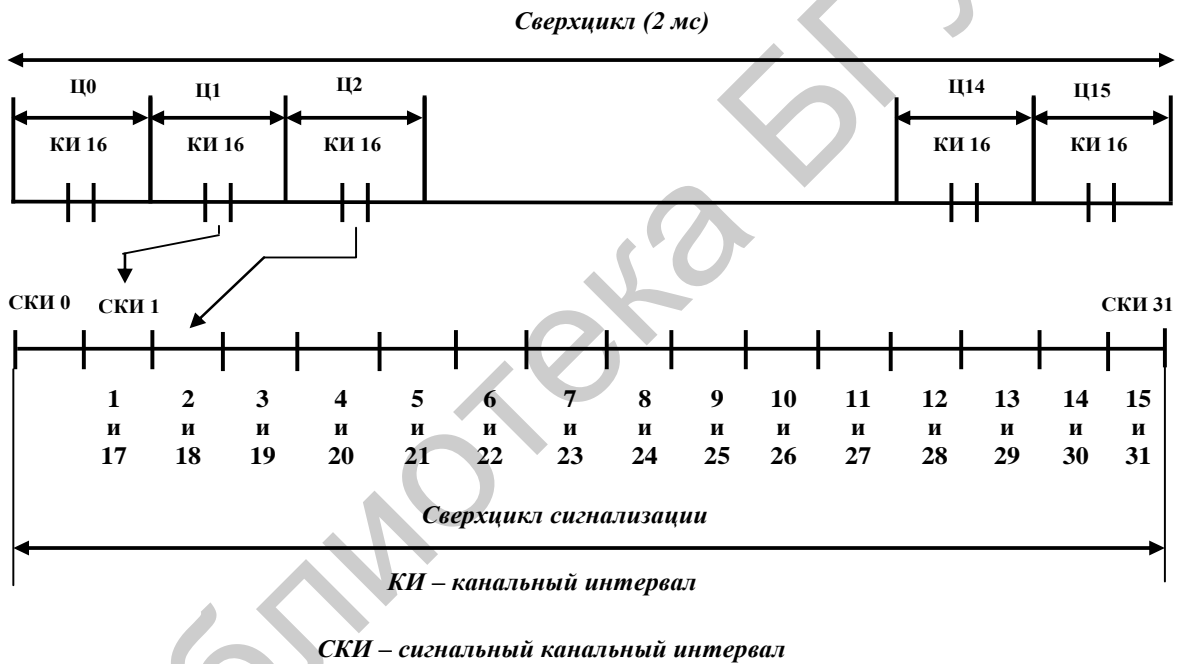


Рисунок 4.11 – Организация сверхцикла сигнализации

### 4.5 Сигнализация токами тональных частот

Протоколы сигнализации токами тональных частот можно классифицировать по двум основным признакам:

- 1) *составу частот* (таблица 4.4);
- 2) *по методу передачи блоков данных* (таблица 4.5).

Таблица 4.4 – Классификация протоколов сигнализации по составу частот

Тип сигнализации	Область применения	Примечание
Одночастотная: • 2600 Гц;  • 2100 Гц; • 2100 или 1600 Гц;	ЗСЛ, СЛМ, междугородная и ведомственные сети; ведомственные сети; внутрizonовая полуавтоматическая связь	Сигналы отличаются длительностью и количеством импульсов
Двухчастотная: • 1000 и 1600 Гц; • 600 и 750 Гц; • 2040 и 2400 Гц;	междугородная сеть; ведомственные сети; международная сеть	Сигналы отличаются составом и количеством импульсов
Многочастотная: • код «2 из 6»;  • код «2 из 8»	международная и междугородная сеть, внутрizonовые сети; абонентские линии	Сигналы отличаются составом частот

Таблица 4.5 – Классификация протоколов сигнализации по методу передачи блоков данных

Метод передачи блоков данных	
импульсный	пакетный
<ul style="list-style-type: none"> <li>• одночастотные;</li> <li>• двухчастотные;</li> <li>• протокол R2;</li> <li>• протокол R1.5 (импульсный челнок)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• безынтервальный пакет;</li> <li>• импульсные пакеты</li> </ul>

Достоинства сигнализации токами тональных частот:

1) обеспечивается такая же дальность передачи сигнальных сообщений, как и передача речи;

2) сигнальные сообщения могут передаваться по любым каналам, по которым возможна передача речи.

Недостатки сигнализации токами тональных частот:

1) возможность имитации линейных сигналов токами тех же частот во время разговора;

2) относительно низкие информационные возможности протоколов.

#### **Примеры протоколов сигнализации токами тональных частот**

*Протокол R1.5 (импульсный челнок).* Протоколы многочастотной сигнализации являются гибридными: линейные сигналы передаются по сигнальным каналам, а регистровые – по разговорным каналам многочастотным кодом. Протокол R1.5 – гибридный протокол многочастотной сигнализации, использующий одинаковые частоты для регистровой сигнализации в обоих

направлениях:  $f_0 = 700$  Гц,  $f_1 = 900$  Гц,  $f_2 = 1100$  Гц,  $f_4 = 1300$  Гц;  $f_7 = 1500$  Гц,  $f_{11} = 1700$  Гц. Количество сигналов в каждом направлении определяется числом сочетаний из 6 различных частот по 2 и определяется по формуле

$$C_m^n = \frac{m!}{n!(m-n)!} = 15.$$

Длительность сигнала составляет  $45 \pm 5$  мс,  $n = 2$ ,  $m = 6$ .

Обмен сигналами начинается с передачи сигнала запроса на предыдущую станцию. Каждый следующий сигнал передается только после получения подтверждения предыдущего от приемной стороны. Протокол является самопроверяющимся. Каждому сигналу обратного направления отвечает сигнал прямого направления. Если обнаружена ошибка, то запрашивается повторение ранее принятого сигнала (рисунок 4.12).

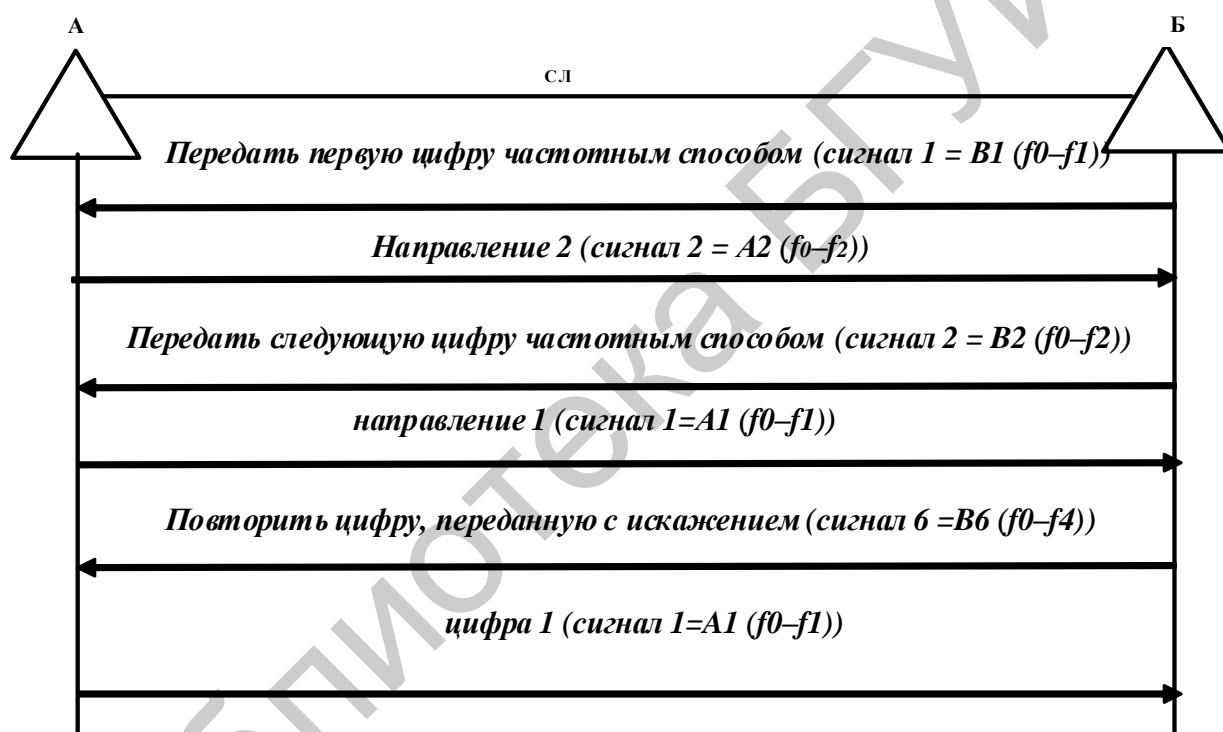


Рисунок 4.12 – Обмен многочастотными сигналами по протоколу «импульсный челнок»

#### 4.6 Абонентская сигнализация EDSS1

Основной предпосылкой создания сети ISDN является организация цифрового абонентского доступа. В настоящее время в ряде стран существуют различные протоколы сигнализации на абонентском доступе. Это связано с тем, что разработка их проводилась различными фирмами при отсутствии единого стандарта. В 1990 году были разработаны стандарты, регламентирующие систему сигнализации, на абонентском участке сети ISDN. Эта система сигнализации была названа EDSS1 (Европейская цифровая система сигнализации №1) и является единственной системой сигнализации,



используемой на сети общего пользования России на абонентском участке сети ISDN. Данная система сигнализации применяется как для базового, так и для первичного доступа. С помощью EDSS1 осуществляется установление соединения и происходит разъединение, производится заказ услуг пользователями, передача информации между абонентами. Все эти функции реализуются с помощью специальных аппаратно-программных средств, входящих в состав терминалов ISDN, сетевых окончаний и оборудования систем коммутации. Далее подробно рассматривается построение цифрового абонентского доступа и протоколы EDSS1.

Цифровой абонентский доступ характеризуется физическими параметрами интерфейса «пользователь – сеть» и абонентской сигнализацией. Основная конфигурация абонентского доступа приведена на рисунке 4.13. Несколько абонентских устройств (TE) подключаются к одному устройству сетевого окончания (NT), при этом оконечные устройства могут быть либо однотипными, либо разнотипными (для передачи текста, данных, речи). Сетевое окончание предназначено для подключения абонентской установки к абонентской линии и для обеспечения совместного использования одной абонентской линии несколькими абонентскими установками. В связи с этим блок NT разделяется на два блока NT1 и NT2:

- **NT1** – осуществляет прямое и обратное преобразование сигналов получаемых со стороны контрольной точки T в сигналы, соответствующие передаче по абонентской линии;
- **NT2** – необходим для обеспечения совместного использования одного сетевого окончания несколькими оконечными устройствами. Если функции NT2 не требуются, блок может отсутствовать. Примером NT2 может служить учрежденческая станция.

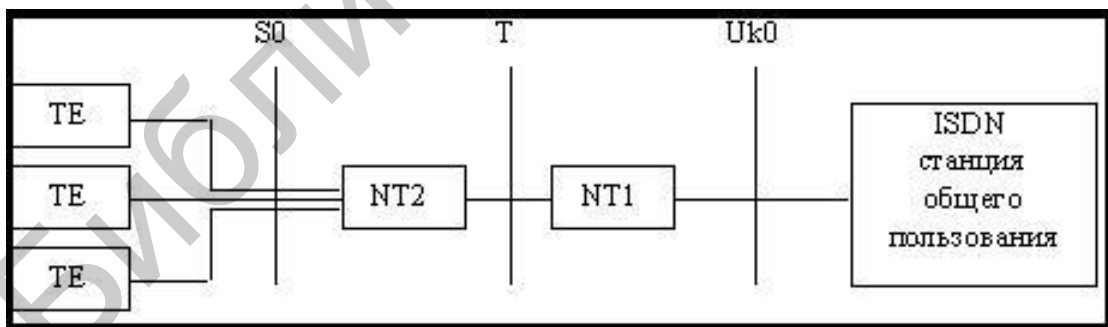


Рисунок 4.13 – Основная конфигурация абонентской линии

Между функциональными блоками определяются контрольные точки (интерфейсы обмена информацией): S, T и U (в протоколе EDSS1 эти точки обозначаются как S0, T, Uk0 соответственно). В этих точках образован стандартизованный физический стык.

*Абонентская сигнализация.* Задачей абонентской сигнализации является обеспечение взаимодействия между оборудованием пользователя и сетью (сигнализация «пользователь – сеть»). На сети ISDN допускается также в ограниченном объеме обмен информацией между двумя устройствами пользователя по D-каналу (сигнализация пользователь – пользователь). Протоколы абонентской сигнализации описываются в соответствии с семиуровневой моделью взаимодействия открытых систем (ВОС). Согласно модели ВОС процедуры, выполняемые при установлении соединения, распределяются по семи уровням, располагающимся друг над другом. Сигнализация «пользователь – сеть» находится в пределах трех нижних уровней ВОС и выполняет следующие функции (рисунок 4.14):

- *уровень передачи данных* (физический уровень, уровень 1) обеспечивает синхронизируемую сеть передачу информации по каналам одновременно в обоих направлениях и регулирует одновременный доступ нескольких оконечных устройств к совместно используемому D-каналу;

- *уровень защиты D-канала* (уровень звена передачи данных, уровень 2) обеспечивает защищенную от ошибок передачу сигнальной информации для уровня 3 и передачу пакетов данных, передаваемых в D-канале, в обоих направлениях между сетью и устройством пользователя;

- *уровень коммутации D-канала* (сетевой уровень, уровень 3) обеспечивает установление и управление соединением на участке «пользователь – сеть». Третьим уровнем заканчивается сигнализация «пользователь – сеть».

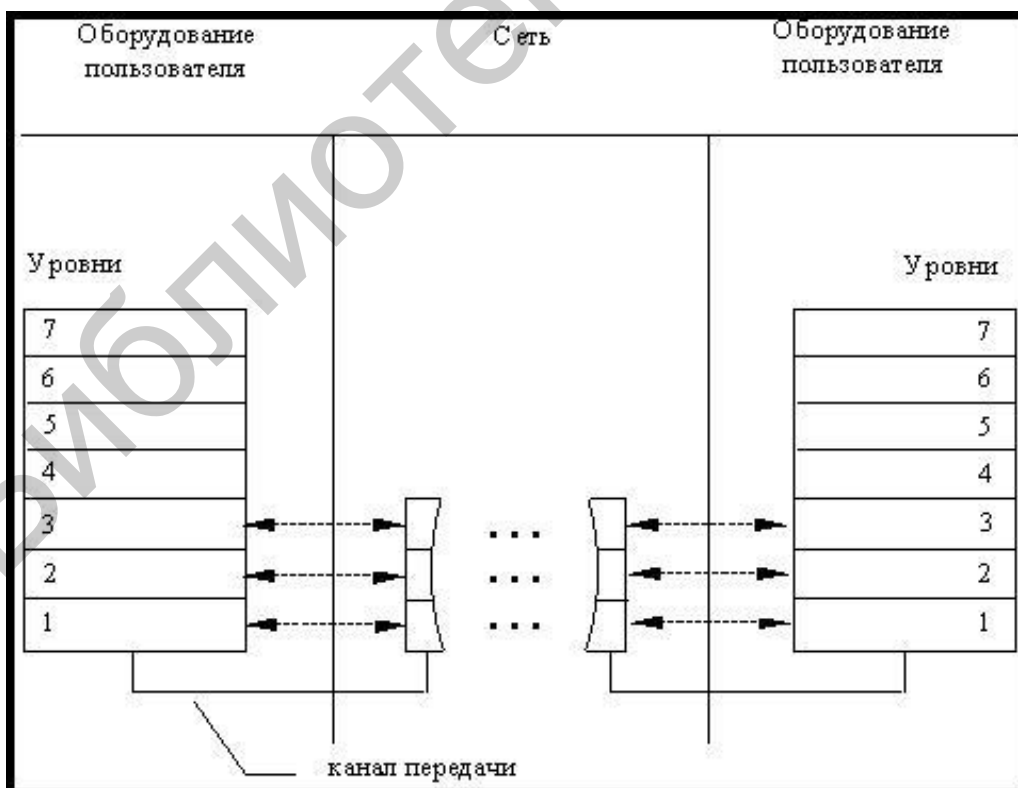


Рисунок 4.14 – Модель ВОС для организации сигнализации и передачи информации на участке «пользователь – сеть»

## Уровень 1

Уровень 1 рассматривается на примере основного доступа (рисунок 4.15).



Рисунок 4.15 – Уровень 1

*S0-интерфейс.* Представляет собой четырехпроводную шину и обеспечивает передачу информации в двух направлениях: от NT до терминального оборудования и от терминального оборудования до NT. В каждом из направлений информация передается со скоростью 192 кбит/с в виде фрейма длиной 48 бит. (частота посылки фрейма 4000 раз в секунду, что и составляет 192 кбит/с), которые организуются следующим образом:

- 16 бит на каждый В-канал;
- 4 бита на D-канал;
- 12 бит на синхронизацию и эхоподавление.

Таким образом, функции S0-интерфейса заключаются в организации двух стандартных пользовательских каналов (В-каналов) со скоростью 64 кбит/с в каждом направлении и канала сигнализации (D-канала) со скоростью 16 кбит/с. Канал синхронизации требуется для передачи каналов в режиме временного уплотнения. С помощью синхронизации определяется расположение битов В- и D-каналов. По шине S0 осуществляется питание пользовательского оборудования.

*Uк0-интерфейс.* Абонентская линия как в разных странах, так и внутри одной страны может существенно различаться (по протяженности, по характеристикам кабелей), поэтому МККТТ не определяет стандарты на способ передачи сигналов по абонентской линии (контрольная точка U не стандартизирована). Выбор интерфейса обмена производится с учетом национальных требований. Наиболее часто используется интерфейс, называемый Uк0. Основная проблема, возникающая при передаче на основном доступе, состоит в использовании существующих медных проводов для двухсторонней цифровой передачи. Причиной данной проблемы являются:

- необходимость обеспечения высокой скорости при двухсторонней передаче по проводу a/b;

- провода а/в не обеспечивают скорость 160 кбит/с при использовании линейного псевдотрочного кода.

Для решения первой проблемы используется цифровой эхокомпенсатор, гарантирующий вероятность битовой ошибки менее  $10^{-7}$  при расстоянии 8 км и диаметре поперечного сечения 0,6 мм. Для решения второй проблемы используются коды 2B1Q или 4B/3T. 2B1Q означает, что два бита информации кодируются одним импульсом определенной полярности и амплитуды. Так как возможны четыре случая сочетаний двух бит, то импульс принимает четыре различных значения и называется четверичным символом (таблица 4.6, рисунок 4.16).

Таблица 4.6 – Код 2B1Q

	Код 2B1Q
10	+3
11	+1
01	-1
00	-3

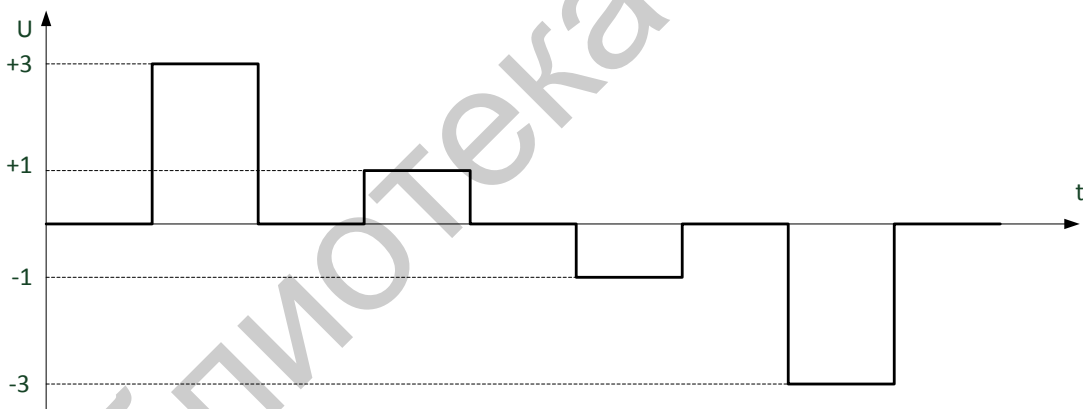


Рисунок 4.16 – Кодировка по принципу 2B1Q

## Уровень 2

Протокол, используемый для уровня 2 в D-канале при выполнении процедуры установления соединения, называется LAPD (Link Access Procedure on the D channel). Данный протокол основывается на протоколе LAPB (рекомендация МККТТ X.25). Однако особенности LAPD дают ему ряд важных преимуществ. Прежде всего это мультиплексирование пакетов, имеющих собственные адреса уровня 2, позволяющее существовать множеству процедур доступа на одном физическом соединении. Это позволяет нескольким терминалам (до 8) делить сигнальный канал между собой. Формат D-канального сообщения второго уровня представлен на рисунке 4.17.

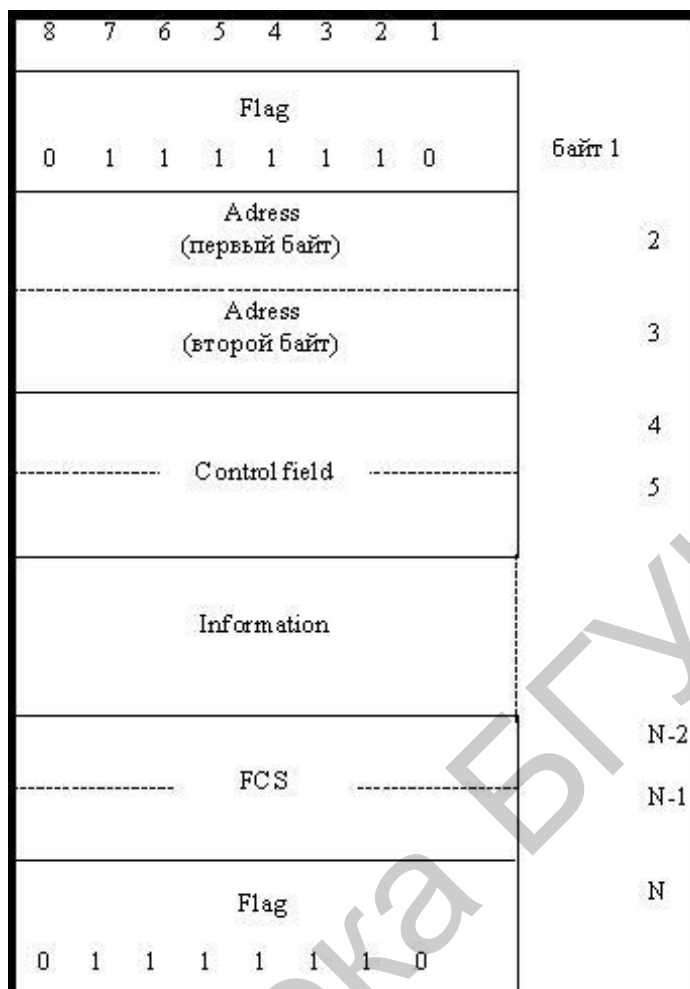


Рисунок 4.17 – Формат D-канального сообщения второго уровня

**Flag.** Каждая сигнальная единица начинается и заканчивается флагом, он отмечает начало сигнальной единицы и ее конец. Флаг – это последовательность битов: 0111110. Флаг, предшествующий адресному полю, называется открывающим флагом, флаг, следующий за полем FCS, закрывающим флагом.

**Address.** Адресное поле состоит из двух байт. В нем определяется получатель управляющей сигнальной единицы и передатчик посланной единицы. Формат адресного поля представлен на рисунке 4.18.

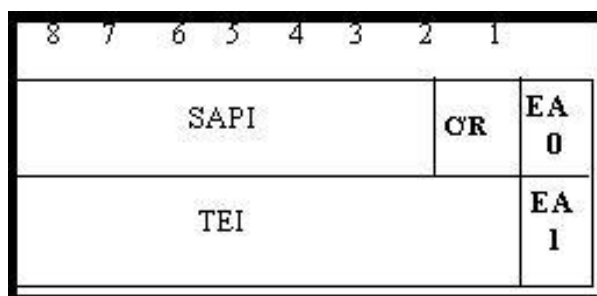


Рисунок 4.18 – Формат адресного поля

В адресное поле входят бит расширения (EA), индикатор команда/ответ (C/R), идентификатор пункта, обеспечивающего услуги звена передачи данных (второго уровня), SAPI, индикатор терминального окончания (TEI).

*Бит 1 расширения адресного поля (EA)* указывает на то, что байт последний в адресном поле.

*Индикатор команда/ответ (C/R)* указывает, является данный пакет командой или ответом на команду. Если пользователь посылает команду, то C/R установлен в 0, если ответ в 1. Со стороны сети, наоборот, команда обозначается 1, ответ 0.

*Идентификатор пункта, обеспечивающего услуги звена передачи данных (SAPI)*, указывает класс передаваемой информации. Эти классы информации используются для распознавания сигнальной информации, административной информации уровня 2 и пакетов пользовательской информации. Например, цифровые телефоны и терминалы X.25 могут быть подключены к одному стыку S0. Разные типы терминалов имеют разные типы доступа и могут иметь выход на различные сети. Пакеты, передаваемые разными типами терминалов, работающими по разным протоколам, идентифицируются с помощью индикатора SAPI. Шесть бит адресного поля, отведенные под SAPI, могут определить 64 класса информации – от 0 до 63 (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Классификация SAPI

SAPI	Классы информации
0	Процедуры управления вызовом
1	Зарезервировано для режима коммутации пакетов, использующего процедуры управления вызовом Q.931
16	Коммутация пакетов по протоколу X.25
63	Процедуры административной информации уровня 2
Все другие	Зарезервировано для будущей стандартизации

*Индикатор терминального окончания (TEI)*. Ввиду того, что к одному блоку сетевого окончания может быть подключено несколько пользовательских установок, станция ISDN присваивает каждой из них уникальный номер, который называется TEI. Таким образом, TEI предназначен для идентификации терминального оборудования. Комбинации SAPI и TEI идентифицируют процедуры звена передачи данных и обеспечивают уникальность адреса для уровня 2. Терминал будет использовать этот адрес во всех передаваемых им пакетах и принимать только те пакеты, которые имеют соответствующий ему адрес. Например, пакет, несущий информацию от процедур управления телефонным вызовом, помечается SAPI как принадлежащий телефонии, и все телефонное оборудование пользователя будет проверять его, но только то терминальное оборудование, чей адрес (TEI) указан в данном пакете, примет его для обработки вторым и третьим уровнем. Не должно существовать двух одинаковых TEI. Для этого сеть осуществляет специальное управление

распределением TEI и следит за их правильным использованием. Семь бит адресного поля, используемые для TEI, позволяют назначить 128 идентификаторов терминальных окончаний (рисунок 4.19).

0–63	TEI, присваиваемые неавтоматически
64–126	Автоматически присваиваемые TEI
127	Общие TEI

Рисунок 4.19 – Индикатор терминального окончания

Неавтоматически присваиваемые TEI выбираются и распределяются пользователем. Автоматически присваиваемые TEI выбираются и распределяются сетью. Общие TEI всегда распределены и обычно называются как TEI для общего оповещения. Терминалам, которые используют TEI из диапазона от 0 до 63, нет необходимости обмениваться информацией с сетью до начала установления соединения вторым уровнем. Однако правило, что все терминалы пользователя должны иметь различные TEI, действует и по отношению к ним. Пользователь должен сам следить, чтобы не было двух терминалов с одинаковыми неавтоматически присваиваемыми TEI. Терминалы, использующие TEI из диапазона от 64 до 126, не могут установить соединение второго уровня до того, как запросят у сети TEI. В этом случае обязанность сети – распределять TEI так, чтобы не было повторений. Общие TEI используются для оповещения всех терминалов с одинаковыми SAPI. Например, оповещение всех телефонов о пришедшем вызове.

*Control field (поле управления)* определяет тип D-канального сообщения, которое может быть командой или ответом на команду. Поле управления может состоять из одного или двух байт, размер его зависит от формата. Существует три типа форматов поля управления: передача информации о номере пакета (I-формат), функции надзора (S-формат), нумерованная информация и функции управления (U-формат). Форматы поля управления представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Форматы поля управления

	8	7	6	5	4	3	2	1
I формат	N(S)							0
	N(R)							P
S формат	X	X	X	X	S	S	0	1
	N(R)							P/F
U формат	M	M	M	P/F	M	M	1	1

Здесь N(S) – номер посланного сообщения;

N(R) – номер принятого сообщения;

P – указывает на подтверждение приема пакета уровнем 2 (при P = 1 пакет принят);

S – бит функции супервизора;

M – бит модификации;

P/F – P используется как указатель подтверждения приема в командах, F – как указатель передачи пакета в откликах (ответах);

X – зарезервирован и установлен в 0.

Information (I) transfer format. I-формат используется при передаче информации между третьими уровнями.

Supervisory (S) format. S-формат используется для выполнения функций управления звеном передачи данных, таких, как обозначение готовности звена передачи данных к приему пакета I формата, подтверждение получения пакета I-формата, запрос на повтор пакетов I-формата (начиная с номера N(R)), запрос на временное прекращение посылки пакетов I-формата.

Unnumbered (U) format. U-формат используется для обеспечения дополнительных функций контроля за звеном передачи данных и для передачи информации, не требующей подтверждения. Различные комбинации значений битов S и M определяют различные типы сообщений формата S и U.

Information (информационное поле). Информационное поле может и не присутствовать в пакете (в этом случае пакет не несет в себе информацию третьего уровня, а используется вторым уровнем, например, для управления звеном передачи данных); если оно присутствует, то находится за полем управления. Размер информационного поля может достигать 260 байт.

FCS (поле контрольных бит). Ввиду того что при передаче по сети пакеты могут искажаться шумами на первом уровне, в каждом из них присутствует поле контрольных бит (Frame Check Sequence field), оно состоит из 16 проверочных бит и используется для проверки ошибок в принимаемом пакете. Если пакет



принят с неправильной последовательностью проверочных бит, то он сбрасывается.

### Уровень 3

Уровень 3 отвечает за установление соединения и управление им. Он готовит сообщения для передачи их вторым уровнем, подготовленная информация помещается в информационное поле D-канального сообщения. Сообщения уровня 3 – это сообщения, передаваемые между терминалами пользователя и станцией и наоборот. Третий уровень содержит процедуры для управления вызовами в режиме коммутации каналов, а также процедуры, позволяющие использовать ISDN для осуществления вызовов в режиме коммутации пакетов по D-каналу. Структура сигнального сообщения уровня 3 представлена на рисунке 4.20.

8	7	6	5	4	3	2	1	Байты
Идентификатор протокола								1
0	0	0	0	Длина поля идентификатора вызова				2
Идентификатор вызова								3
0	Тип сообщения							
Другие информационные элементы сообщения								

Рисунок 4.20 – Организация сигнального сообщения уровня 3

*Идентификатор протокола.* Цель идентификатора протокола состоит в отделении сообщений управления вызовом на участке «пользователь – сеть» от других сообщений. Идентификатор протокола – первая часть каждого сообщения уровня 3.

*Идентификатор вызова.* Является третьим байтом сигнального сообщения уровня 3 и используется для определения того вызова, к которому относится данное сообщение. Таким образом, вызов может быть идентифицирован независимо от канала передачи, в котором он поддерживается. Это важно для идентификации информации, относящейся к разным вызовам одного терминала.

*Тип сообщения.* Предназначен для определения функции, которую выполняет посланное сообщение.

Сообщения:

**ALERTING** – посылается вызываемым пользователем сети и сетью вызывающему пользователю и сообщает о том, что вызываемый пользователь снял трубку (активировал соединение).

**CALL PROCEEDING** – посылается вызываемым пользователем сети или сетью вызывающему пользователю для обозначения того, что запрос установления соединения был инициирован и никакая информация об установлении соединения больше приниматься не будет.

**CONNECT** – посылается вызываемым пользователем сети или сетью вызывающему пользователю для обозначения того, что вызов принят вызываемым пользователем.

**CONNECT ACKNOWLEDGE** – посылается сетью вызываемому пользователю для сообщения о том, что соединение установлено. Сообщение может также посылаться вызывающим пользователем сети для того, чтобы обеспечить симметричность процедур управления вызовом.

**PROGRESS** – посылается пользователем или сетью для обозначения процесса прохождения вызова в случаях межсетевое взаимодействие или в связи с обеспечением посылки тональных сигналов.

**SETUP** – посылается вызывающим пользователем сети и сетью вызываемому пользователю для инициализации процесса установления соединения.

**SETUP ACKNOWLEDGE** – посылается сетью вызывающему пользователю или вызываемым пользователем сети для обозначения того, что процесс установления соединения был инициализирован.

**RESUME** – посылается пользователем для запроса сети о возобновлении отложенного вызова.

**RESUME ACKNOWLEDGE** – посылается сетью пользователю для обозначения завершения запроса на возобновление отложенного вызова.

**RESUME REJECT** – посылается сетью пользователю для обозначения отклонения запроса на возобновление отложенного вызова.

**SUSPEND** – посылается пользователем для запроса сети об откладывании вызова.

**SUSPEND ACKNOWLEDGE** – посылается сетью пользователю для обозначения завершения запроса на откладывание вызова.

**SUSPEND REJECT** – посылается сетью пользователю для обозначения отклонения запроса на откладывание вызова.

**USER INFORMATION** – посылается пользователем сети для дальнейшей передачи его другому пользователю или посылается сетью пользователю для передачи информации от другого пользователя. Данное сообщение используется, например, для реализации услуги «User-to-User Signalling».

**DISCONNECT** – посылается пользователем для запроса сети на освобождение соединения из конца в конец или посылается сетью пользователю для обозначения того, что соединение из конца в конец освобождено.

**RELEASE** – посылается пользователем или сетью для обозначения того, что оборудование, посылающее сообщение, отключено от канала и готово освободить канал и что принимающее оборудование должно осуществить освобождение канала после посылки сообщения **RELEASE COMPLETE**.

**RELEASE COMPLETE** – посылается пользователем или сетью для обозначения того, что оборудование, посылающее сообщение, освободило канал и что принимающее оборудование сейчас начнет освобождение канала.

**CONGESTION CONTROL** – посылается пользователем или сетью для указания начала или окончания передачи сообщений типа **USER INFORMATION**.

**INFORMATION** – посылается пользователем или сетью для предоставления дополнительной информации. Это сообщение может быть использовано для предоставления информации процессам установления соединения (например, посылка и получение цифр с перекрытием) или для предоставления дополнительной информации, связанной с вызовом.

**NOTIFY** – посылается пользователем или сетью для указания информации относящейся к вызову, такой как откладывание вызова.

**STATUS** – посылается пользователем или сетью в ответ на сообщение **STATUS ENQUIRY** или в любой момент во время вызова для оповещения о некоторых ошибках.

**STATUS ENQUIRY** – посылается пользователем или сетью в любое время для получения сообщения **STATUS** от уровня 3. Посылка сообщения **STATUS** в ответ на сообщение **STATUS ENQUIRY** обязательна.

Каждое из передаваемых сообщений содержит идентификатор протокола, идентификатор вызова и поле типа сообщения. Данная информация заносится в соответствующие поля сигнального сообщения третьего уровня. Поле, отведенное для других информационных элементов, заполняется информацией, необходимой каждому конкретному типу сообщения. Информационные элементы сообщения **SETUP** (данное сообщение наиболее содержательное из перечисленных выше).

• *Sending complete*. Проставляется в сообщении если пользователь или сеть указывают, что вся информация, необходимая для установления вызова, присутствует в сообщении **SETUP**.

• *Channel identification*. Обязателен в сообщении от сети к пользователю. Может присутствовать в сообщении от пользователя к сети, если пользователь хочет указать канал передачи. Отсутствие данного элемента в сообщении интерпретируется как «любой подходящий канал».

• *Facility*. Используется для дополнительных услуг.

• *Progress indicator*. Используется для указания взаимодействия с абонентом, оборудованием или сетью не ISDN.

• *Network specific facilities*. Используется для указания сети, используемой для установления соединения.

• *Display*. Включается в сообщение, если сеть предоставляет пользователю какую-либо информацию.

• *Calling party number*. Проставляется вызывающим пользователем или сетью для идентификации вызывающей стороны.

• *Calling party subaddress*. Включается в сообщение от пользователя к сети, если вызывающий пользователь хочет указать свой подадрес. Включается в

сообщение от сети к пользователю, если вызывающий пользователь включил данный информационный элемент в сообщение SETUP.

- *Called party number*. Включается в сообщение от пользователя к сети и от сети к пользователю.

- *Called party subaddress*. Включается в сообщение от пользователя к сети, если вызывающий пользователь хочет указать подадрес вызываемой стороны. Включается в сообщение от сети к пользователю, если вызывающий пользователь включил данный информационный элемент в сообщение SETUP.

- *Transit network selection*. Используется для указания транзитной сети.

- *Low layer compatibility*. Включается в сообщение от пользователя к сети, если вызывающий пользователь хочет передать данную информацию вызываемой стороне. Включается в сообщение от сети к пользователю, если вызывающий пользователь включил данный информационный элемент в сообщение SETUP.

- *High layer compatibility*. Включается в сообщение от пользователя к сети, если вызывающий пользователь хочет передать данную информацию вызываемой стороне. Включается в сообщение от сети к пользователю, если вызывающий пользователь включил данный информационный элемент в сообщение SETUP.

- *User-user*. Включается в сообщение от пользователя к сети, если вызывающий пользователь хочет передать какую-либо пользовательскую информацию вызываемой стороне. Включается в сообщение от сети к пользователю, если вызывающий пользователь включил данный информационный элемент в сообщение SETUP.

#### 4.7 Процесс установления соединения

Рассмотрим процесс установления соединения для схемы, представленной на рисунке 4.21.

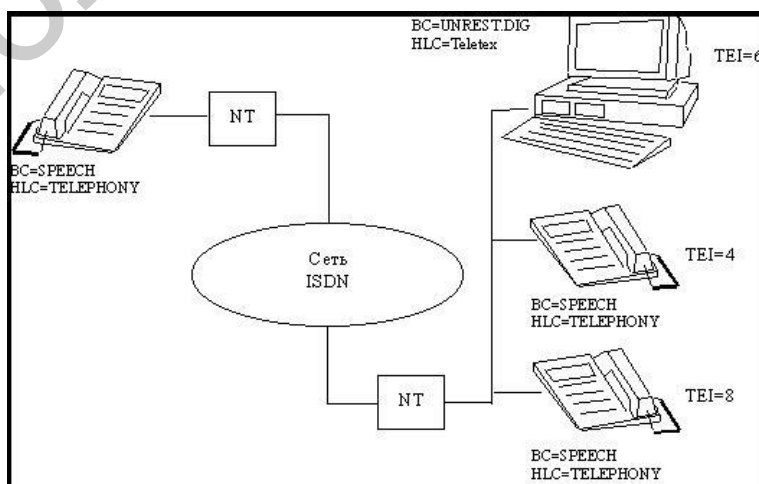


Рисунок 4.21 – Процесс установления соединения

Последовательность сообщений для установления вызова показана на рисунке 4.22. При запросе на установление вызова вызывающий пользователь должен послать сети всю информацию, необходимую для установления соединения (например, номер вызываемой стороны, запрос дополнительных услуг). Более того, пользователь должен определить тип услуги по передаче информации (bearer service), соответствующей данному вызову (например, speech, unrestricted или 3.1 kHz audio), и всю информацию по совместимости терминалов (high layer compatibility), которая проверяется на месте назначения. Информация о низкоуровневой совместимости (low layer compatibility) используется для определения низкоуровневых характеристик терминала, например скорость передачи данных. Если используются услуги телесервиса, то вызов специфицируется информационным элементом высокоуровневой совместимости (например, Group 4 Fax, Teletex, Videotex). Запрос на установление исходящего вызова может производиться блоком или с перекрытием. Если используется процедура установления соединения с перекрытием, то в сообщении SETUP может только запрашиваться услуга по передаче информации (bearer service), а информация об особенностях запроса и вызываемый номер передаются последовательностью сообщений INFORMATION. Кроме того, если запрашивается услуга SPEECH и в сообщении SETUP не содержится информация о вызове, то сеть будет посылать тональный сигнал пользователю до тех пор, пока не будет получено первое сообщение INFORMATION с недостающими атрибутами вызова.

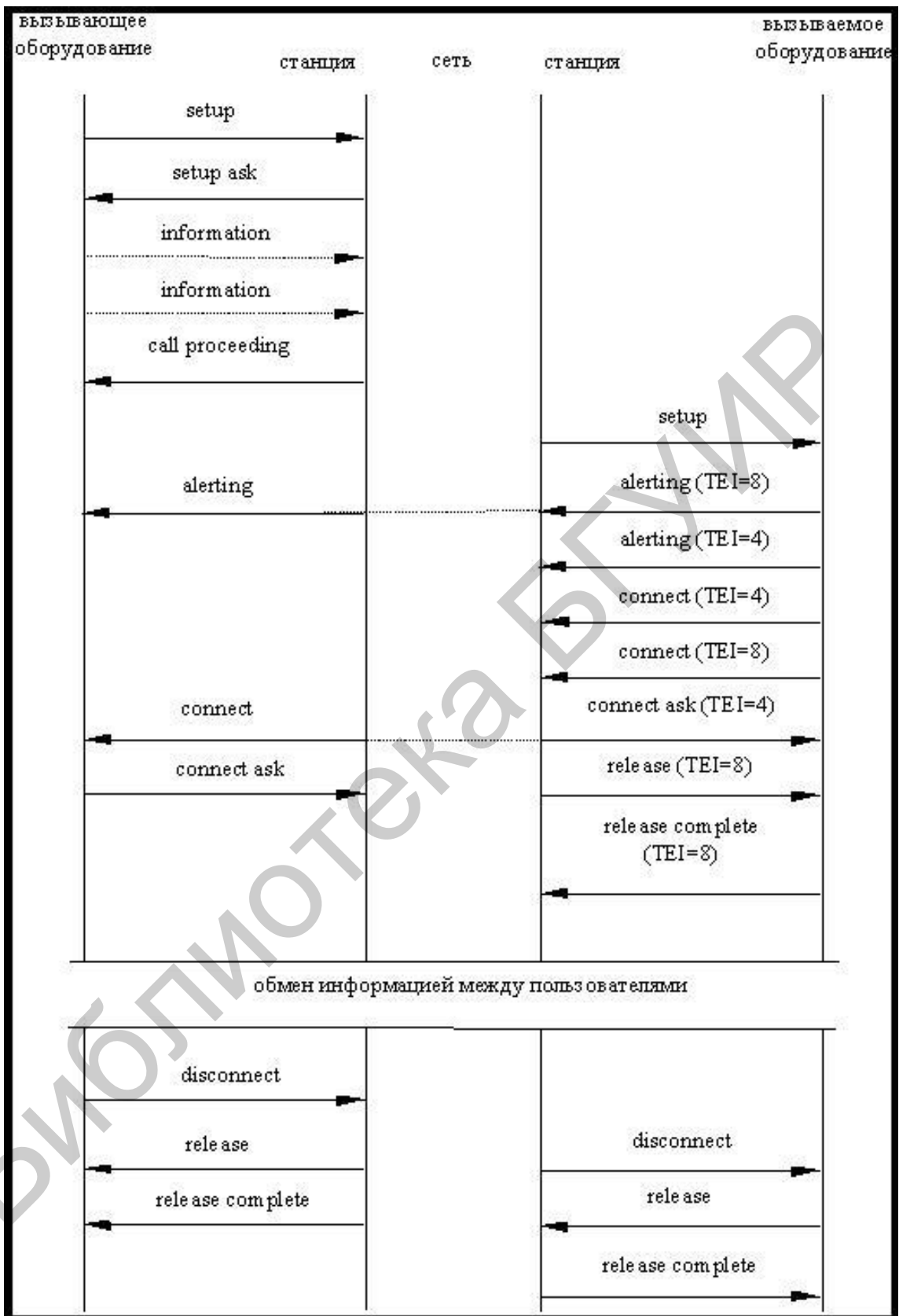


Рисунок 4.22 – Обмен сообщениями при установлении соединения и разъединении

Следующим шагом сеть возвращает пользователю сообщение CALL PROCEEDING для обозначения того, что производится попытка установить соединение с вызываемой стороной. Вызываемой стороне приходит сообщение SETUP для оповещения ее о входящем вызове. Все терминалы, присоединенные к NT1 со стороны вызываемого пользователя, проверяют сообщение SETUP для определения своей совместимости с вызывающей стороной. Эта совместимость выявляется при анализе поля описывающего запрошенную услугу по передаче информации (bearer capability), и поля, описывающего низкоуровневую совместимость (low layer compatibility). Кроме того, запрос услуги (например, факс гр. 4, телетекс) передается в поле, описывающее высокоуровневую совместимость (high layer compatibility), если он был обеспечен вызывающей стороной. В данном примере два терминала определили свою совместимость с вызывающим пользователем (терминалы с TEI, равным 4 и 8) и послали сообщение ALERTING сети. В этот момент терминалы сигнализируют пользователю о пришедшем вызове (например, телефонный звонок). Когда терминал вызываемого пользователя определяет, что получен ответ на вызов (например, снята телефонная трубка), посылается сообщение CONNECT в сторону сети. Сеть размещает вызов на первом терминале, пославшем ей сообщение CONNECT, назначает ему В-канал и оповещает его об этом в сообщении CONNECT ASKnowledge, содержащем идентификатор В-канала. Все другие терминалы, ответившие на входящий вызов, получают от сети сообщение RELEASE, обозначающее, что они освобождаются и возвращаются в исходное состояние. Вслед за приемом сообщения CONNECT от терминала вызываемого пользователя сеть уведомляет сообщением CONNECT вызывающего пользователя о том, что на вызов получен ответ. С этого момента начинается тарификация. Пользователь может прекратить соединение в любой момент времени. При этом сеть и пользователь последовательно обмениваются тремя сообщениями: DISConnect, RELease, RELease COMPlete. Вся информация, передаваемая в сообщениях D-канала, преобразуется в сообщения подсистемы ISUP или в сигналы других систем сигнализации, используемых на сети. Однако следует отметить, что при использовании других систем сигнализации, все преимущества и услуги, присущие абонентам ISDN, не могут быть реализованы.

## 5 ОБЩЕКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА СИГНАЛИЗАЦИИ ОКС №7

### 5.1 Понятие и режимы работы ОКС №7

Общий канал сигнализации представляет собой совокупность средств, обеспечивающих прием требований на передачу линейных, регистровых и информационных сигналов, формирование пакетов данных переменной длины с сигнальной и другой информацией, передачу и прием кадров, а также обеспечение требуемой верности передачи информации.

В ОКС отсутствует строгое соответствие между сигнальными и разговорными каналами. При этом маршрут передачи сигнальной информации в сети может отличаться от маршрута пользовательской информации. В ОКС информация передается между станциями посредством специально организованной сети сигнализации, которая фактически является сетью передачи данных и предназначена для связи между собой центральных (координационных) процессоров коммутационных систем (рисунок 5.1).

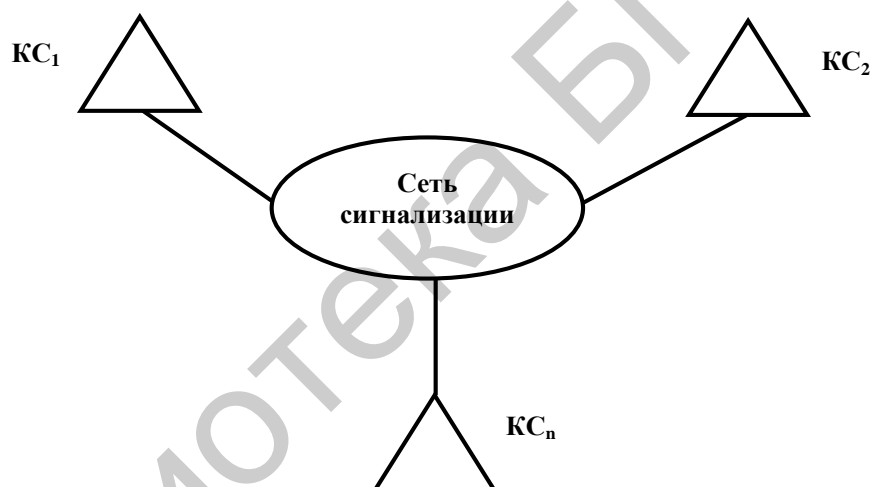


Рисунок 5.1 – Сеть сигнализации

**Сеть сигнализации** – совокупность каналов сигнализации, оконечных и транзитных пунктов сигнализации. Эта сеть является транспортной системой не только для транспортировки сигнальных сообщений, обмен которыми обеспечивает предоставление услуг, но и для обмена данными тарификации разговоров, технической эксплуатации, административного управления, управления процессами подготовки и предоставления дополнительных видов обслуживания.

Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии рекомендовал две системы ОКС: ОКС №6 была принята для сигнализации на международной сети, вторая система ОКС №7 принята в 1980 году как сигнализация для цифровых сетей связи со скоростью передачи 64 кбит/с. ОКС №7 определяет сигнализацию между коммутационными системами в цифровой национальной сети, включая УПАТС, а также в центрах технической



эксплуатации (ЦТЭ). На ОКС №7 базируется построение цифровой сети с интеграцией обслуживания (ЦСИО).

Сеть сигнализации образуется тремя основными элементами:

1) **пункт сигнализации** (Signaling Point, SP) – совокупность аппаратно-программных средств коммутационной станции, осуществляющих формирование сигнальных сообщений для передачи и обработки принимаемых сигнальных сообщений в процессе обслуживания вызовов (функции пункта сигнализации выполняются аппаратно-программными средствами цифровых систем коммутации);

2) **транзитный пункт** (Signaling Transfer Point, STP) – передача сигнальных сообщений из одного звена сигнализации в другое;

3) **звено сигнализации** (Signaling Link, SL) – обеспечивает перенос сигнальных сообщений между пунктами сигнализации, включает в себя два противоположно направленных канала или один двунаправленный канал передачи данных.

Сеть ОКС №7 может функционировать в одном из трех режимов:

1) **связанном** – маршруты передачи информационных и сигнальных сообщений совпадают (рисунок 5.2);

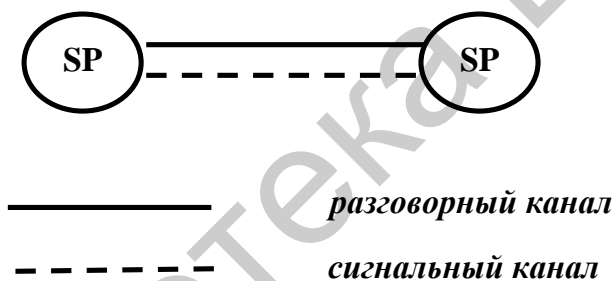


Рисунок 5.2 – Связанный режим работы сети ОКС №7

2) **квазисвязанном** – маршруты передачи информационных и сигнальных сообщений не совпадают, но сигнальные сообщения между двумя станциями проходят по заранее заданному маршруту. В сигнальном тракте задействовано не менее двух звеньев ОКС (рисунок 5.3);

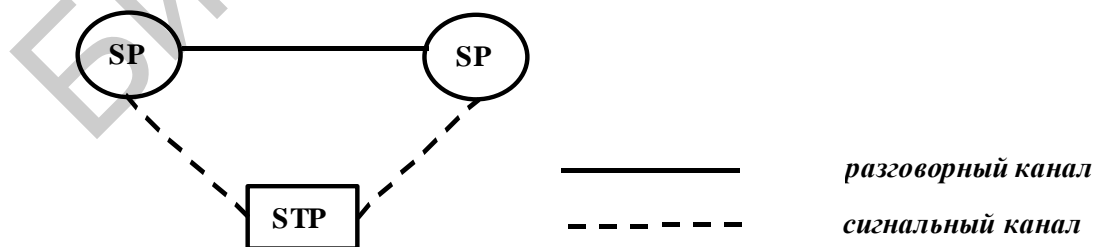


Рисунок 5.3 – Квазисвязанный режим работы сети ОКС №7

3) *несвязанном* – сообщения между SP могут направляться в зависимости от состояния элементов сети по разным маршрутам, т. е. маршруты заранее не определены (рисунок 5.4).

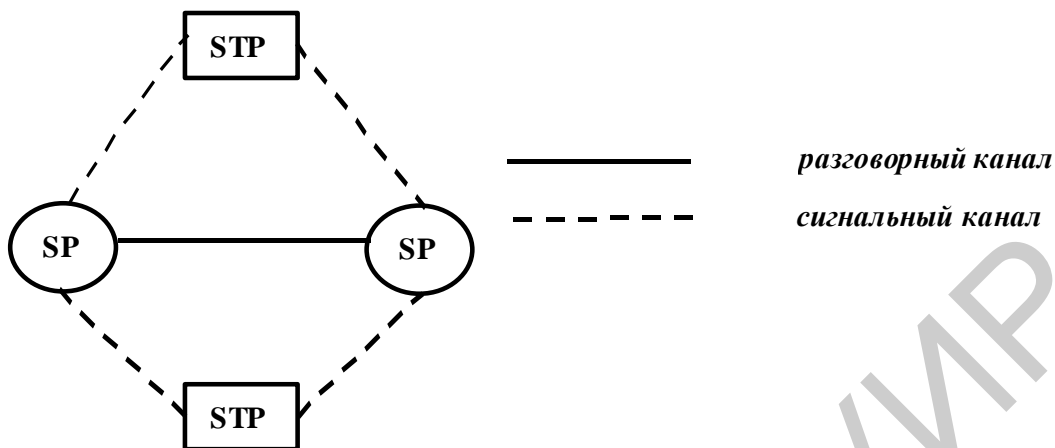


Рисунок 5.4 – Несвязанный режим работы сети ОКС №7

## 5.2 Передача сигнальных сообщений

Информация в ОКС№7 передается через звено сигнализации с помощью пакетов данных, называемых *сигнальными единицами CE* (SU – Signal Unit). Различают три типа сигнальных единиц:

1) *значащая сигнальная единица (ЗНСЕ)*, которая используется для передачи сигнальной информации, формируемой подсистемами пользователей и управлением соединением сигнализации;

2) *сигнальная единица состояния звена сигнализации (СЗСЕ)*, которая используется для контроля состояния звена сигнализации;

3) *заполняющая сигнальная единица (ЗПСЕ)*, которая передается в звено сигнализации при отсутствии значащей сигнальной единицы и состояния звена сигнализации.

Сигнальные единицы состоят из поля сигнальной информации, в котором передается информация, выработанная подсистемой пользователя, и нескольких полей фиксированной длины, в которых передается информация для управления передачей сообщений. На рисунке 5.5 показан формат значащей сигнальной единицы.

0	1	1	1	1	1	1	0	Флаг
ОБИ	ОПН							
ПБИ	ППН							
		ИД (L)						
ИС				ИП				
ПСИ								
ПСИ								
ПБ								
ПБ								
0	1	1	1	1	1	1	0	Флаг

Рисунок 5.5 – Формат значащей сигнальной единицы

Здесь ОБИ – обратный бит-индикатор. Используется для запроса повторной передачи значащей СЕ, принятой ранее с ошибкой.

ОПН – обратный порядковый номер. Передается удаленной стороной в качестве подтверждения принятой без ошибок СЕ.

ПБИ – прямой бит индикации. Используется для информирования удаленной стороны о том, передается ли СЕ впервые или повторно.

ППН – прямой порядковый номер. Каждой СЕ присваивается уникальный ППН. На удаленной стороне ППН принимаемых СЕ служат для проверки правильного порядка следования СЕ.

ПСИ – поле сигнальной информации. Содержится сообщение пользователя и метка, включающая код исходящего пункта и код пункта назначения.

ИД – индикатор длины, по которому определяется тип СЕ (для ЗПСЕ ИД=0, для СЗСЕ ИД=1 или 2, для ЗНСЕ ИД>2);

ПБ – проверочные биты. Формируются в процессе циклического кодирования сигнальной информации и добавляются к ней. Удаленная сторона используется для выявления ошибок.

БСИ (ИС и ИП) – байт служебной информации.

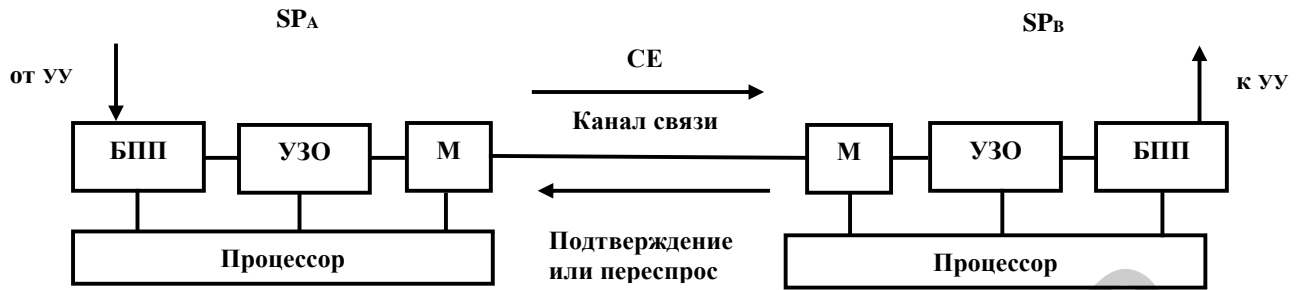
ИП – индикатор пользователя (ТфОП, сеть передачи данных, сеть с интеграцией обслуживания и т. п).

ИС – индикатор сети (международная, междугородная, зонавая, местная).

Порядок взаимодействия двух пунктов сигнализации показан на рисунке 5.6.

При передаче сигнальных сообщений на передающей стороне в запоминающее устройство записываются СЕ. Если в запоминающем устройстве нет ЗНСЕ или СЗСЕ, то в канал связи выдаются ЗПСЕ. Если запоминающее устройство не пустое, то из него считывается очередная СЕ и выдается в канал. Устройство защиты от ошибок (УЗО) вводит в СЕ проверочные разряды для защиты от ошибок. На приемном конце поступившая СЕ проверяется на достоверность. Если результат позитивный, то СЕ передается на обработку, а в сторону передающей стороны выдается сигнал подтверждения. После получения этого сигнала переданная СЕ стирается из запоминающего устройства. Если результат контроля негативный, то на

передающую сторону передается сигнал переспроса и выдача СЕ повторяется. Повторы продолжаются до тех пор, пока не будет получен сигнал подтверждения.



*БПП – буфер повторной передачи (приема)*

*УЗО – устройство защиты от ошибок*

*М – модем*

*УУ – управляющее устройство*

Рисунок 5.6 – Передача сигнальных единиц

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АК – абонентский комплект

АЛ – абонентская линия

АЗУ – адресное запоминающее устройство

АМТС – автоматическая междугородная телефонная станция

АМТСЭ – автоматическая междугородная телефонная станция электронная

АТС – автоматическая телефонная станция

АТСК – автоматическая телефонная станция координатная

АТСЭ – автоматическая телефонная станция электронная

БАЛ – блок абонентских линий

БСИ – байт служебной информации

БСЛ – блок соединительных линий

БЭ – базовый элемент

ВОС – взаимодействие открытых систем

ВРК – временное разделение каналов

ВСК – выделенный сигнальный канал

ВЦЛ – входящая цифровая линия

ГО – групповое оборудование

ГТС – городская телефонная сеть

ДК – декадный код

ЗНСЕ – значащая сигнальная единица

ЗПСЕ – заполняющая сигнальная единица

ЗСЛ – заказно-соединительная линия

ЗУ – запоминающее устройство

ЗУА – запоминающее устройство адресное

ИКМ – импульсно-кодовая модуляция

ИЦЛ – исходящая цифровая линия

КБ – коммутационный блок  
КИ – канальный интервал  
КК – коммутация каналов  
КП – коммутация пакетов  
КПВ – контроль посылки вызова  
КС – коммутационная схема  
КС–Б – коммутационная схема типа баньян  
КСЛ – комплект соединительных линий  
КЭ – коммутационный элемент  
МВК – модуль временной коммутации  
МККТТ – международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии  
МКС – многократный координатный соединитель  
МОК – многокаскадный оптический коммутатор  
МПК – модуль пространственной коммутации  
МЧК – многочастотный код  
ОИС – оптическая интегральная схема  
ОКС – общеканальная сигнализация  
ОПН – обратный порядковый номер  
ОС – сигнал «Ответ станции»  
ОУ – оконечный узел  
ПБИ – прямой бит индикации  
ПВ – посылка вызова  
ПЛ – промежуточная линия  
ППН – прямой порядковый номер  
ПСИ – поле сигнальной информации  
ПЧК – полярно-числовой код  
РЗУ – речевое запоминающее устройство

РК – разговорный канал  
СЕ – сигнальная единица  
СК – сигнальный канал  
СЛ – соединительная линия  
СЛМ – соединительная линия междугородная  
СТС – сельская телефонная сеть  
СУ – система управления  
УВС – узел входящих сообщений  
УЗО – устройство защиты от ошибок  
УПАТС – учрежденческо-производственная АТС  
УУ – управляющее устройство  
ЦКП – цифровое коммутационное поле  
ЦЛ – цифровая линия  
ЦСИО – цифровая сеть с интеграцией обслуживания  
ЦСК – цифровая система коммутации  
ЦТЭ – центр технической эксплуатации  
ЧРК – частотное разделение каналов  
ЭК – электронный контакт

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн, Б. С. Сигнализация в сетях связи / Б. С. Гольдштейн. – М. : Радио и связь, 2001. – 309 с.
2. Гольдштейн, Б. С. Системы коммутации : учебник / Б. С. Гольдштейн. – СПб. : БХВ- Санкт-Петербург, 2003. – 318 с.
3. Букрина, Е. В. Сети связи и системы коммутации : учеб. пособие / Е. В. Букрина. – Екатеринбург, 2007. – 185 с.
4. Баркун, М. А. Цифровые системы синхронной коммутации / М. А. Баркун, О. Р. Ходасевич. – М. : Эко-Трендз, 2001. – 280 с.
5. Ершов, В. А. Мультисервисные телекоммуникационные сети / В. А. Ершов, Н. А. Кузнецов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 432 с.
6. Шварц, М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. В 2 ч. Ч. 2 / М. Шварц. – М. : Наука, 1992. – 272 с.
7. Автоматическая коммутация : учебник / под ред. О. Н. Ивановой. – М. : Радио и связь, 1988. – 624 с.
8. Росляков, А. В. Общекабельная система сигнализации №7 / А. В. Росляков. – М. : Эко-Трендз, 1999. – 176 с.
9. Аджемов, А. С. Система сигнализации ОКС №7 / А. С. Аджемов, А. Е. Кучерявый. – М. : Радио и связь, 2002.
10. Хоменок, М. Ю. Прикладные подсистемы общекабельной сигнализации ОКС №7: учеб. пособие / М. Ю. Хоменок. – Минск : БГУИР, 2010. – 75 с.