

Министерство образования республики Беларусь

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

С. М. Лапшин, В. Ю. Цветков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАКЕТНЫХ КОММУТАТОРОВ С САМОМАРШРУТИЗАЦИЕЙ

Методические указания к лабораторной работе
по курсу
«Цифровая коммутация каналов, пакетов, IP-телефония и терминальные устройства»
для студентов специальности I 45 01 03
«Сети телекоммуникаций»
всех форм обучения

Минск БГУИР 2009

УДК 621.395.3 (076)

ББК 32.882 я7

И88

Л24

Лапшин С.М., исследование пакетных коммутаторов с самомаршрутизацией: метод. указания к лаб. работе по курсу «Системы коммутации» для студентов специальности I 45 01 03 «Сети телекоммуникаций» /С. М. Лапшин, В. Ю. Цветков – Минск.: БГУИР, 2009. – 25 с.: ил.

Рассмотрена методика построения пакетных коммутаторов со структурами «Общая шина», «Разделенная память» и коммутаторов с пространственным разделением. Приведены указания к выполнению лабораторной работы по исследованию коммутационной системы типа «Дельта».

УДК 621.395.3 (076)

ББК 32.882 я7

© С. М. Лапшин, В.Ю.Цветков

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2009

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| 1 Технологии синхронного и асинхронного режимов переноса | 5 |
| 2 Принципы построения пакетного коммутатора | 8 |
| 3 Матрица из шин с временным разделением | 10 |
| 4 Коммутационная система с общей памятью | 14 |
| 5 Многокаскадные коммутационные системы | 15 |
| 5.1 Коммутационная система с одним промежуточным путем между парой вход-выход | 15 |
| 5.2 Коммутационные системы с несколькими промежуточными путями .. | 21 |
| 6 Указания к выполнению лабораторной работы | 24 |
| Литература | 25 |

Библиотека БГУИР

ВВЕДЕНИЕ

Коммутация пакетов пригодна для обслуживания разноскоростных потоков, которые переносят какую-либо информацию – от собственных данных до интерактивных телефонных разговоров и мультимедийной информации. На современных сетях это позволяет пользователю в каждом сеансе связи получать при необходимости определенную полосу частот и соответственно рационально распределять ресурсы сети.

Особенности пакетной коммутации вызваны необходимостью самостоятельной маршрутизации каждого отдельного пакета при помощи адресной информации, которая содержится в его заголовке.

В пособии рассмотрены принципы построения пакетных коммутаторов, преимущества коммутации пакетов перед другими видами коммутации, приведены методические указания к лабораторной работе по исследованию характеристик пакетного коммутатора.

1 Технологии синхронного и асинхронного режимов переноса

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, так как 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 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 только 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 всё 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 переписывания 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, так как 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 1 показано, что трафик, поступающий от конечных узлов на коммутаторы, распределен во времени очень неравномерно. Однако коммутаторы более высокого уровня иерархии, которые обслужи-

вают 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.

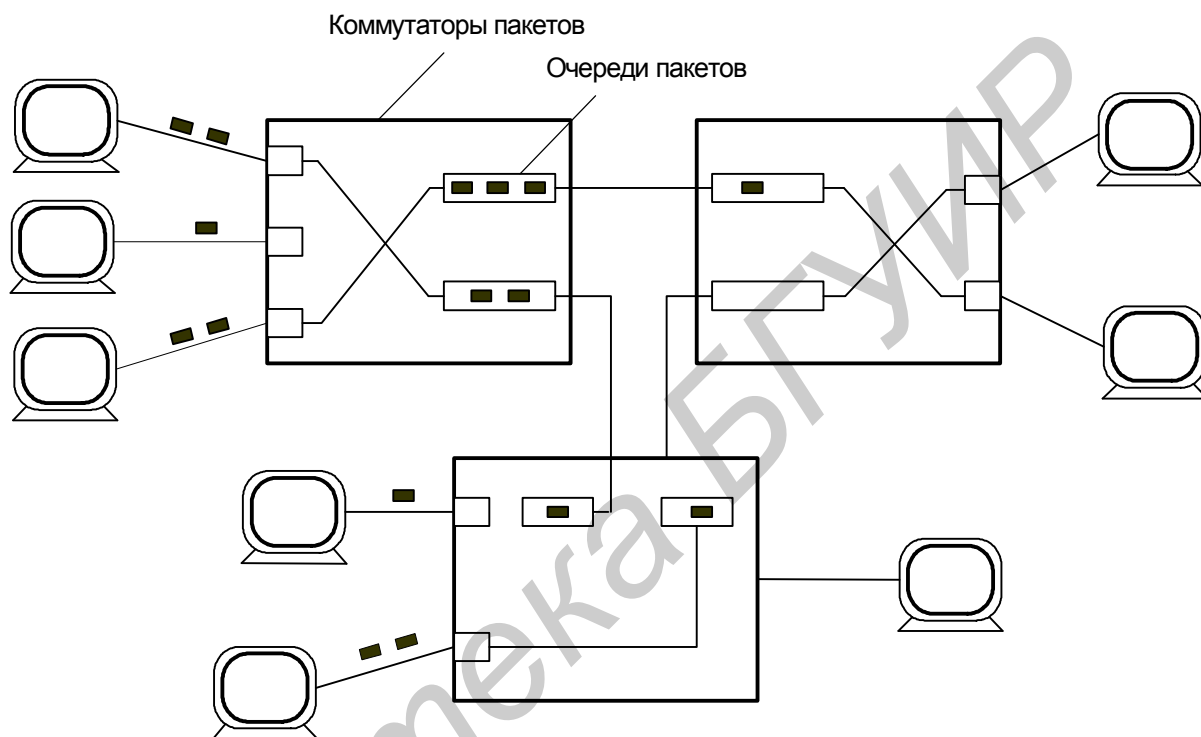


Рисунок 1 – Коммутация пакетов

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 в свою очередь обеспечит возможность обмена информацией между источниками, подключенными к каналам разной пропускной способности;
- нет отказов в соединении, даже если сеть перегружена; при этом 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.

2 Принципы построения пакетного коммутатора

В узлах коммутации пакетов функции коммутации, точнее, «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 этому адресу маршруту. Однако для повышения производительности применяются либо много-

процессорные 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 2 показан коммутационный элемент (КЭ), представляющий собой шину с временным разделением. Данный КЭ имеет N входов, так называемые приемные порты, и N выходов – передающих портов, соединенных 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.

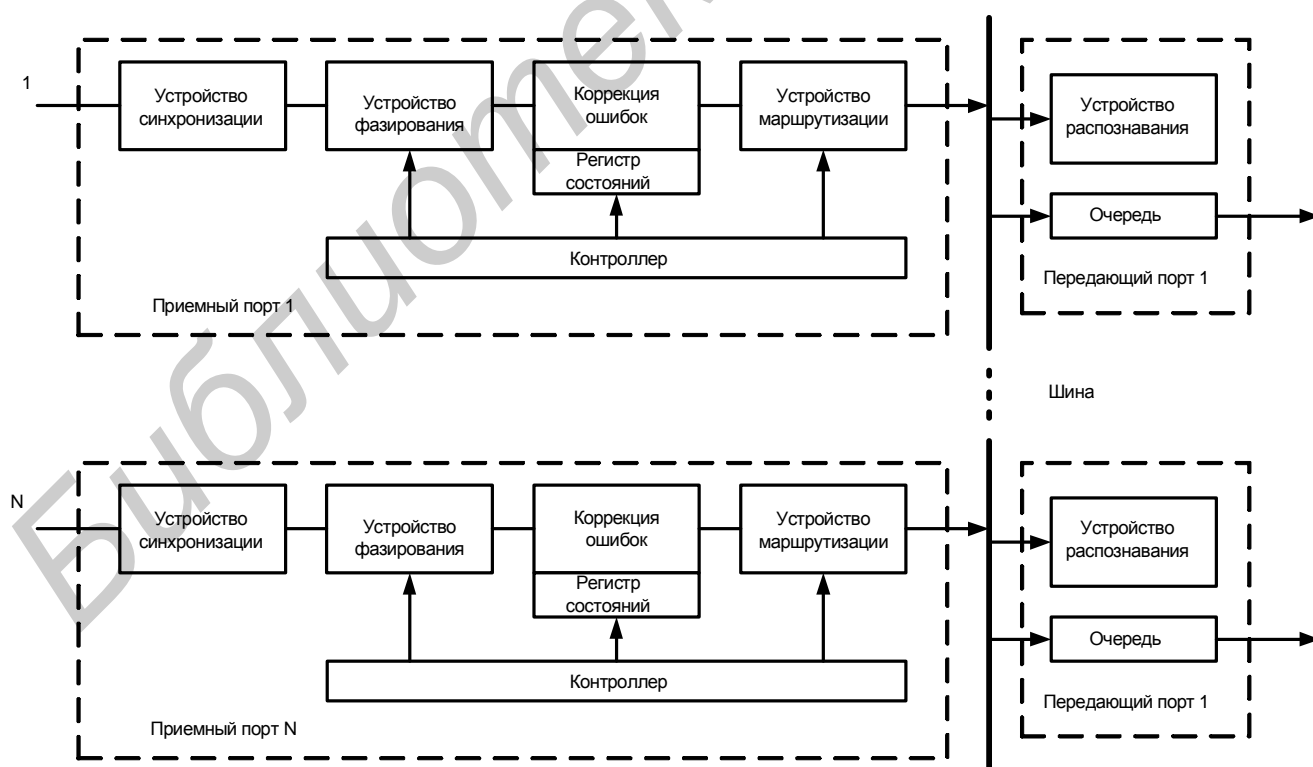


Рисунок 2 – Коммутационная система с общей шиной

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 дольше, 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 в наличии мест ожидания обусловлена тем обстоятельством, что передача ячеек из приемных портов может осуществляться в один и тот же порт передачи. Прием или отказ требования на логический канал с некоторой пропускной способностью определяется работой блока управления нагрузкой порта передачи. Для создания КЭ, построенного на принципе 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 широкополосного, многоточечного и распределенного видов обслуживания. Такой коммутатор, исходя из принципа его работы, достаточно просто поддерживает эти виды сервиса.

3 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. Вход и выход этой системы реализуется с помощью шин с временным разделением. Каждая точка коммутации определяет индивидуальную входную и выходную шины. В отличие от обычного пространственного коммутатора точка коммутации в этой системе выполняет значительно более интеллектуальные функции.

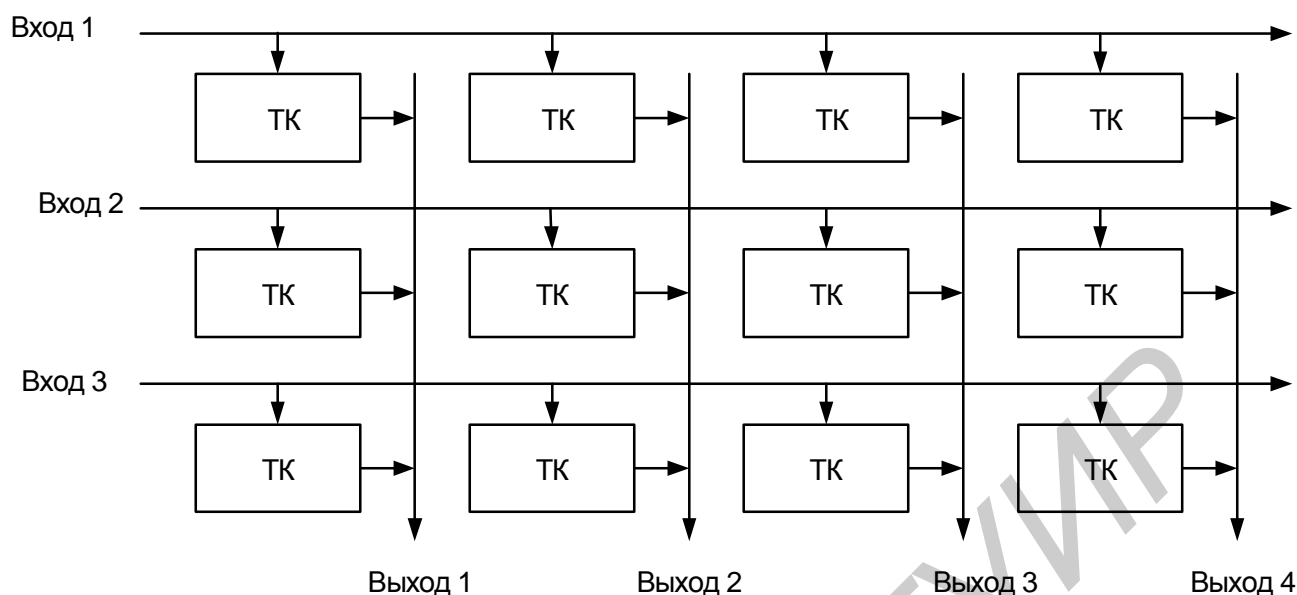


Рисунок 3 Матричная структура с общей шиной

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 4. 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, будет иметь наивысший приоритет и поэтому имеет монопольный доступ к шине. Уровень приоритета может меняться от «точки к точке».

Параллельный доступ (случай с использованием мультиплексора). Структурная схема выходной шины, функционирующей с использованием мультиплексора, показана на рисунке 5.

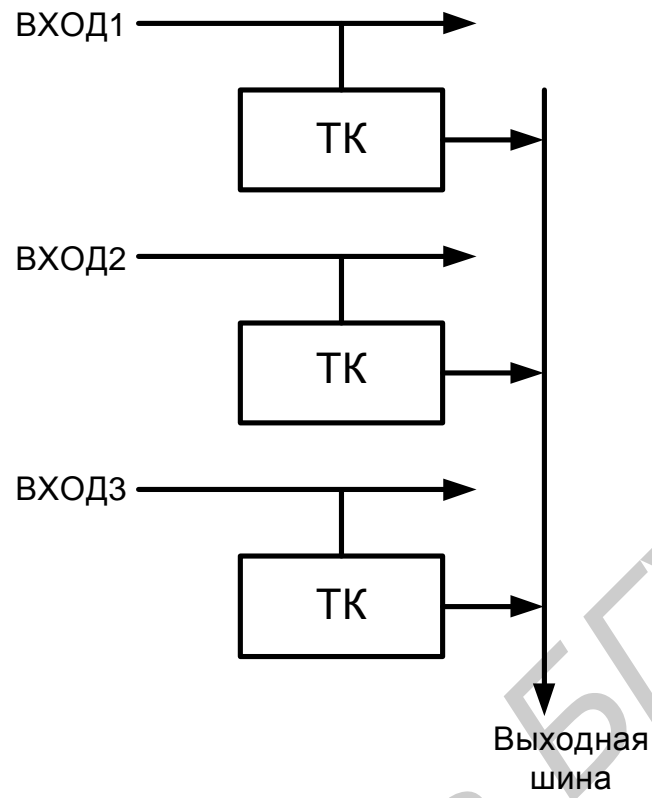


Рисунок 4 – Общая шина с последовательным доступом

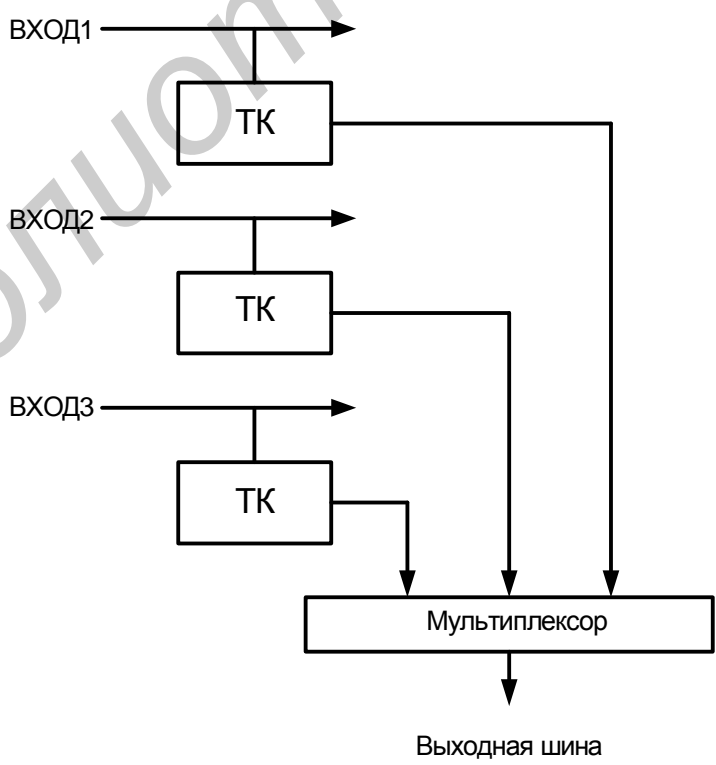


Рисунок 5 – Общая шина с параллельным доступом

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 на рисунке 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, является использование уплотненных шин, что позволяет обеспечить гибкость в отношении скорости передачи битов 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.

4 Коммутационная система с общей памятью

Система с общей памятью представляет собой структуру типа «звезда». 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 6 иллюстрирует принцип работы коммутационной матрицы.

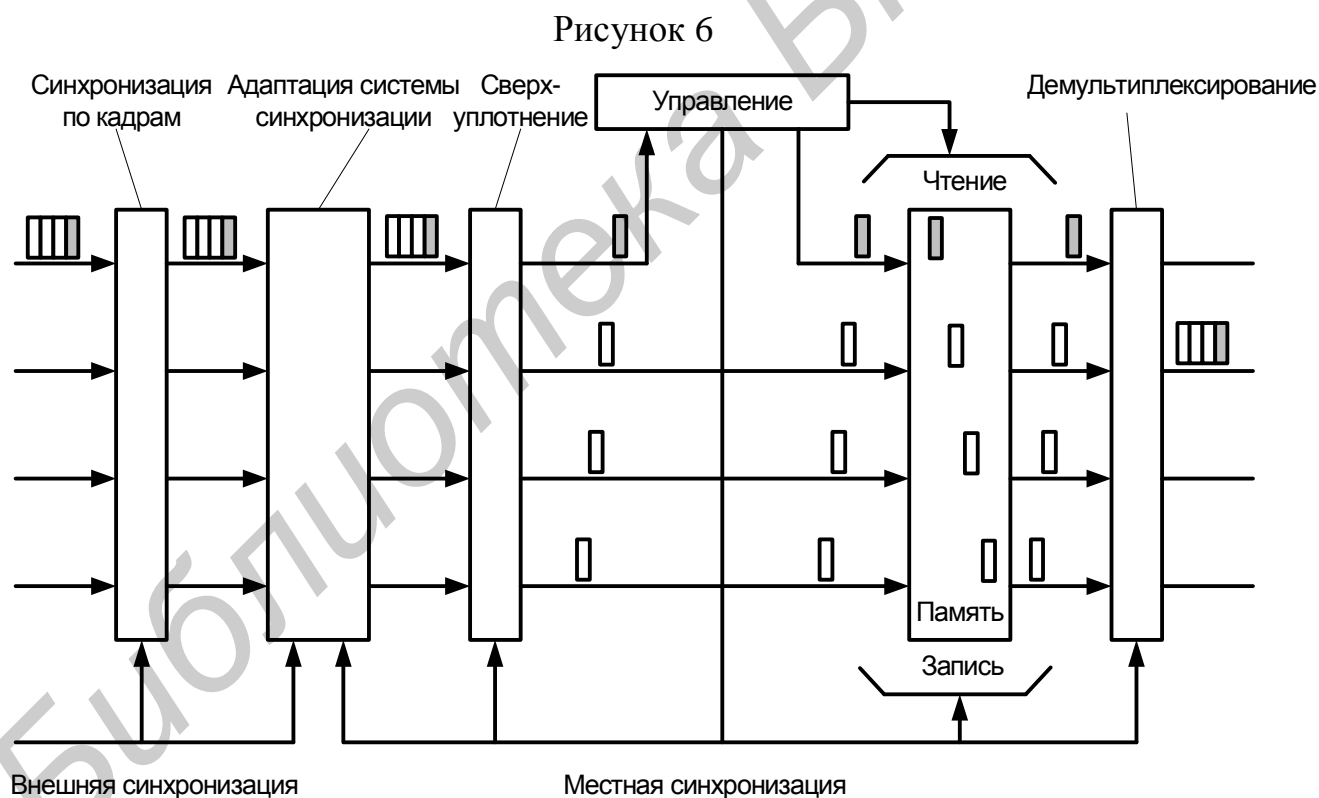


Рисунок 6 – Коммутационная система с общей памятью

Хотя все пакеты и обрабатываются в соответствии с дисциплиной «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 широко вещание.

5 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 КК, так и в режиме КП. 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 БКП в Ш-ЦСИС. Данные КС имеют несколько каскадов и имеют 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 предварительно не устанавливается, а устанавливается 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 принцип получил название самомаршрутизация. Известно большое число типов самомаршрутизирующихся КС.

5.1 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 осуществ-

ляются через смежные каскады. Такие КС называются системами типа Баньян (КС-Б). Различают несколько типов сетей Баньян.

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 на рисунке 7. 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 самомаршрутизирующейся 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 на рисунке 8 показано сплошной жирной линией.

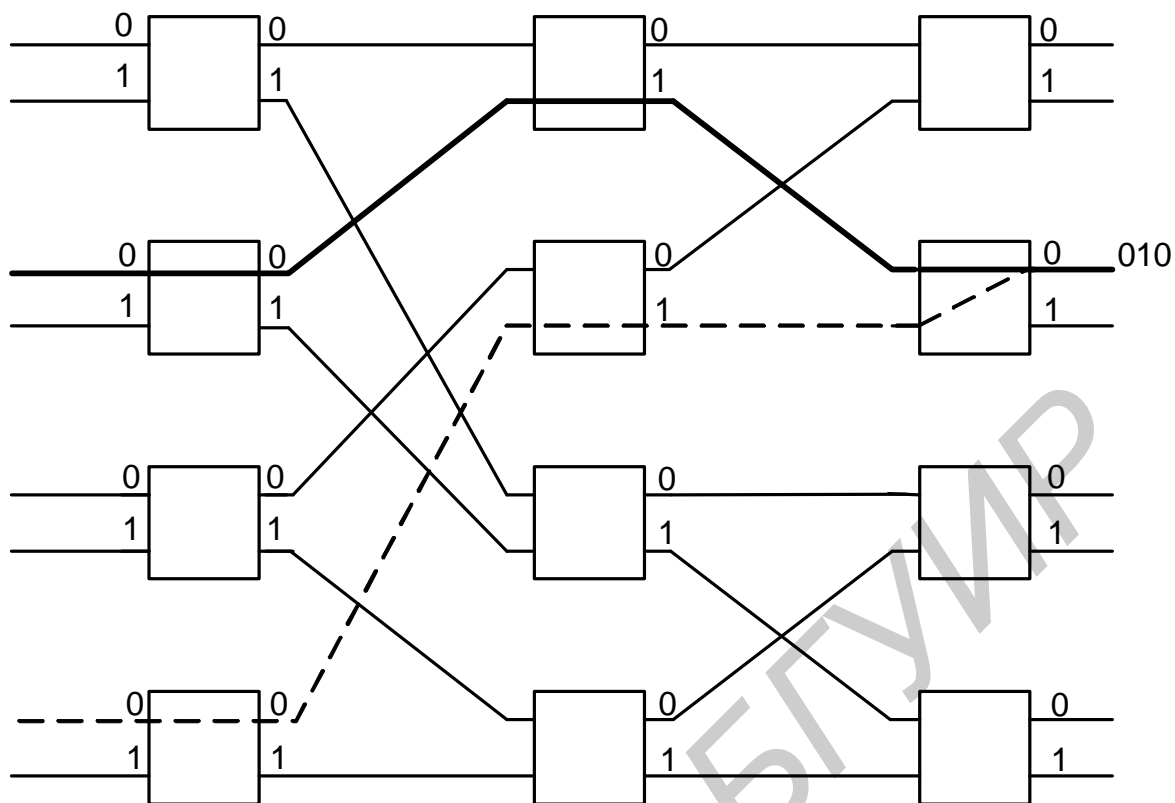


Рисунок 7 – Установление соединения в Дельта-системе

Если теперь потребуется установить соединение между входом 0 коммутатора 4 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 7 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.

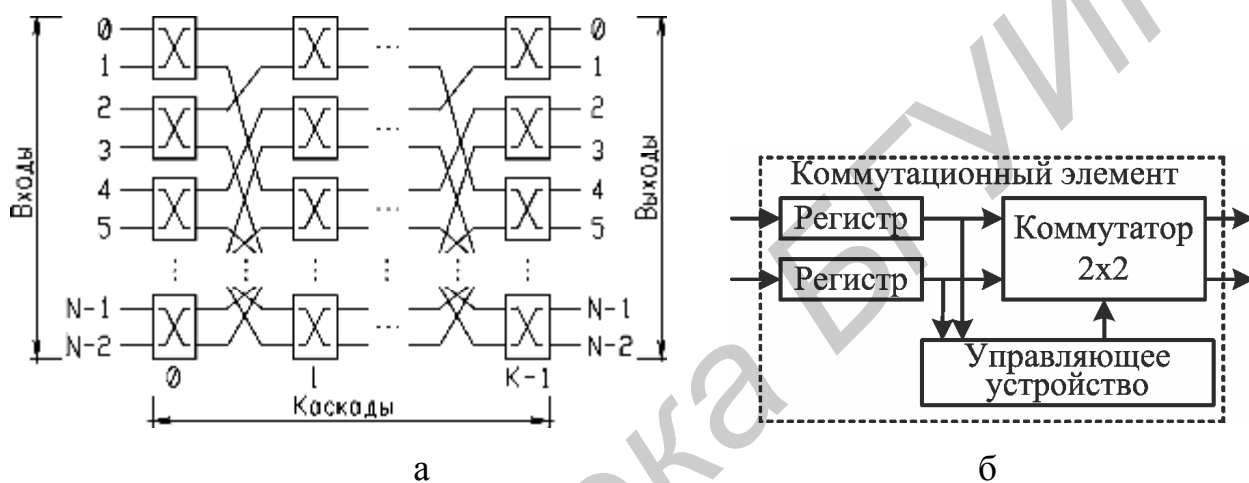
Прямоугольная Дельта-система емкостью $N \times N$ (N входов и N выходов) состоит из K каскадов, число которых определяется выражением

$$K = \log_2 N$$

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 8).



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

Рисунок 8 – 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 λ/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:

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

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, изображенная на рисунке 9). Вероятность блокировки P_L модифицированной Дельта-системы при этом уменьшается в показательной зависимости от количества L Дельта-систем, а сложность реализации, оцениваемая числом E_L коммутационных элементов, числом C_L комбинаторных элементов и числом R_L связей между коммутационными элементами, растет пропорционально количеству Дельта-систем:

$$P_L = P^L; \quad E_L = L \cdot E; \quad C_L = L \cdot C; \quad R_L = L \cdot R.$$

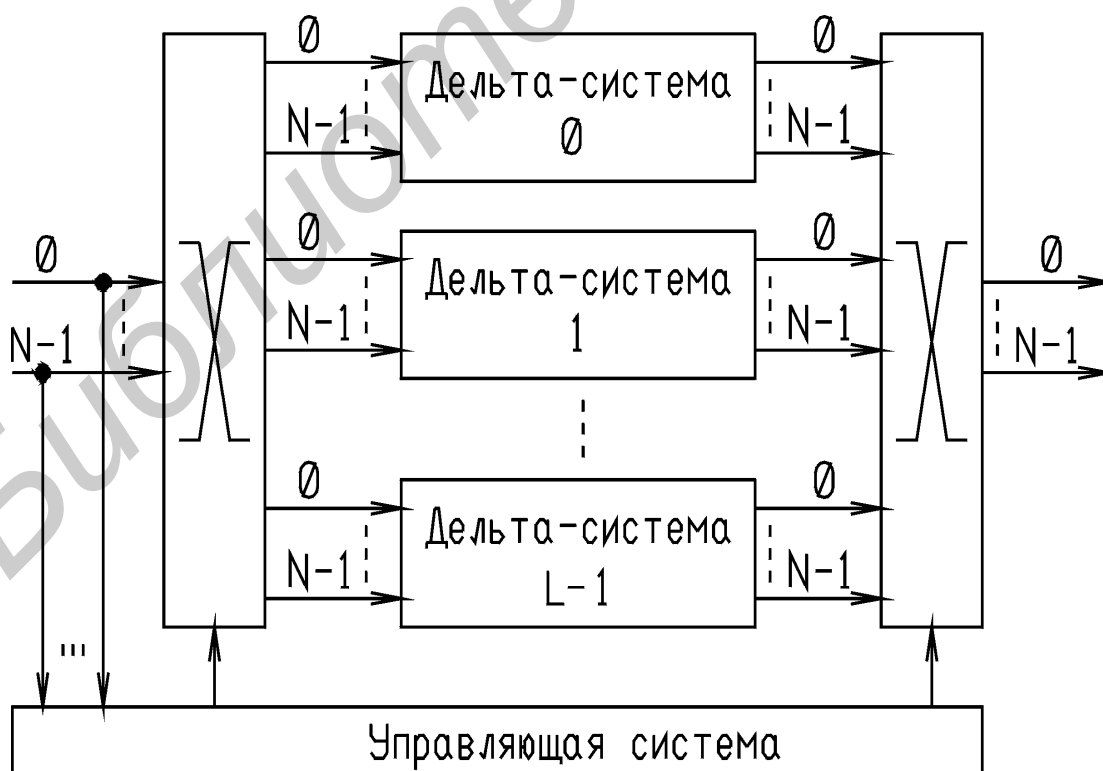


Рисунок 9 – Структура модифицированной Дельта-системы

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.

Для оценки сложности коммутационной системы целесообразно использовать число E коммутационных элементов, число R связей между коммутационными элементами, число C комбинаторных элементов, реализующих двухместную конъюнкцию в составе мультиплексоров коммутационных элементов.

Эти параметры могут быть определены по выражениям:

число коммутационных элементов

$$E = K \cdot M = (\log_s N) \cdot N / S;$$

число связей между коммутационными элементами

$$R = (K - 1) \cdot M \cdot S = (\log_s N - 1) \cdot N;$$

число логических элементов

$$C = K \cdot S^2 = (\log_s N) \cdot N \cdot S.$$

Для оценки свойств коммутаторов на основе Дельта-системы могут быть использованы характеристики «сложность-блокируемость» в отношении числа коммутационных элементов (V_E), числа комбинаторных элементов (V_C) и числа связей между коммутационными элементами (V_R) в условиях одинаковых емкости, связности и нагрузки. Данные характеристики определяются следующими соотношениями:

$$V_E = E \cdot P; \quad V_C = C \cdot P; \quad V_R = R \cdot P; \quad V = V_E \cdot V_C \cdot V_R.$$

Последняя из приведенных характеристик коммутационной системы V является комплексной и учитывает совокупность всех остальных.

Класс Дельта-систем, в которых свойство самомаршрутизации справедливо в обоих направлениях (от входов к выходам, и наоборот), называется реверсивными Дельта-системами или r -Дельта-системами

5.2 Коммутационные системы с несколькими промежуточными путями

В КС с несколькими промежуточными путями (КС НПП) существует более чем один путь между парой вход-выход. КС с одним промежуточным путем между парой вход-выход характеризуются высокой вероятностью блокировки. В отличие от них система КП НПП позволяет минимизировать вероятность блокировки и в некоторых случаях делать систему неблокируемой. Однако улучшенные характеристики БКП 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 ситуации, 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 8×8 показан рисунке 10.

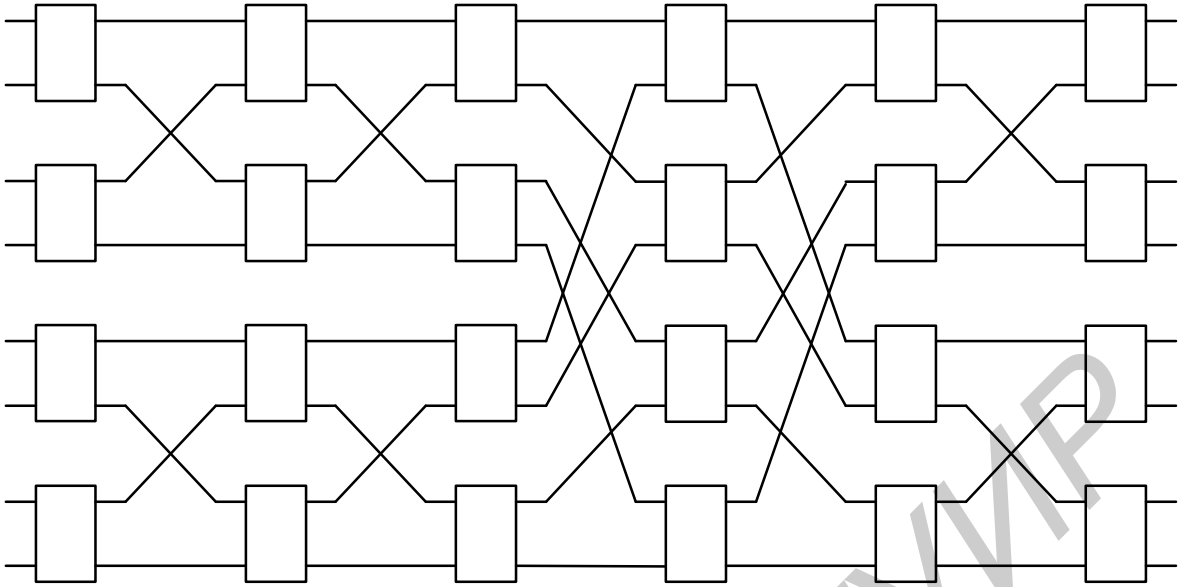


Рисунок 10 – Схема системы Бэтчера 8×8

Классическим примером КС с перестроениями являются системы Бенеша. Пример системы Бенеша показан на рисунке 11. Эта система имеет $2 \log_n N - 1$ каскадов и N/n путей между соединяемыми входами и выходами.

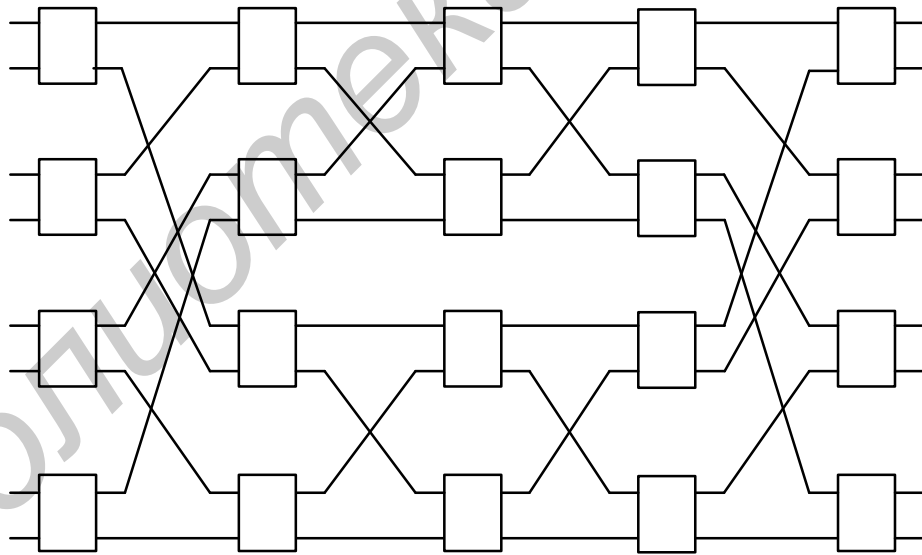


Рисунок 11 – Коммутационная система Бенеша

Коммутационная система Клоза представляет наиболее интересный пример неблокируемой системы (рисунок 12). Ее часто применяют в современных цифровых станциях. Типичная система Клоза состоит из трех каскадов; первый и последний каскады имеют соответственно КЭ емкостью $n \times r_2$ и $r_2 \times m$ (n – число входов в каждый КЭ первого каскада, m – число выходов из каждого коммутатора третьего каскада, r_2 – число коммутаторов второго каскада). Ем-

кость КЭ второго каскада равна $r_1 \times r_1$ (r_1 – число коммутаторов первого (третьего) каскада). Таким образом, система Клоза имеет r_2 промежуточных путей между каждым коммутатором первого и третьего каскадов. Система Клоза называется системой неблокируемой в строгом смысле, если выполняется условие

$$r_2 \geq n + m - 1.$$

Минимальная по числу точек КС Клоза емкостью $N \times N$ строится при условии, когда $n = \sqrt{N}$

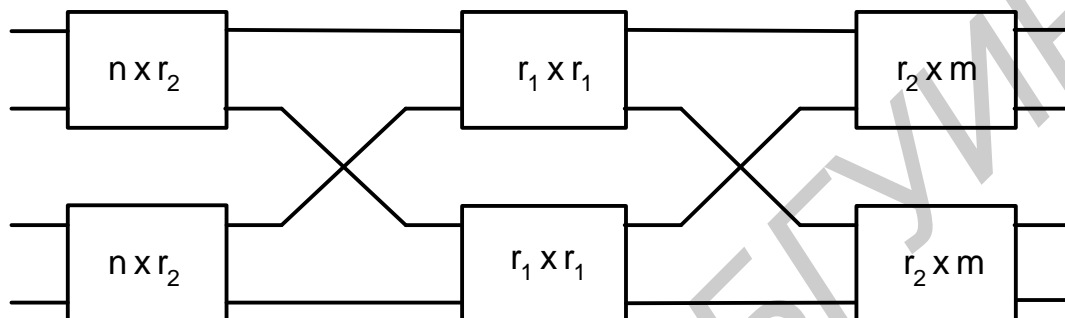


Рисунок 12 Коммутационная система Клоза

Как в системе Бенеша, так и в системе Клоза маршрутизация ячейки осуществляется с помощью централизованного управляющего устройства, которое имеет информацию о состоянии системы и может найти свободный путь от входа к требуемому выходу.

Существуют и другие методы уменьшения или устранения блокировок, которые одинаково применимы для КС с одним или несколькими промежуточными путями. К ним относятся:

- введение буферов на входах (выходах) КС и/или в каждом КЭ, что позволяет в случае блокировки поместить одну из двух ячеек в буфер, избежав тем самым ее потери;
- использование разных скоростей передачи в каждом каскаде КС. Если скорость обработки в каждом последующем каскаде КС в два раза выше скорости обработки в предыдущем, то это позволяет устранить все внутренние блокировки в КС. Этот метод, однако, может потребовать неприемлемо высоких скоростей обработки информации при большом числе каскадов в КС.

6 Указания к выполнению лабораторной работы

6.1 Цель работы

Изучить принципы построения и функционирования пакетных коммутаторов

6.2 Предварительное задание к лабораторной работе

Изучить особенности построения и маршрутизации коммутационных систем типа «Дельта».

Составить схемы алгоритмов моделирования коммутационной системы и расчета зависимости основных параметров коммутационной схемы от параметров входных потоков, заданных преподавателем.

Выполнить компьютерное моделирование.

6.3 Содержание отчета

1 Схема исследуемой коммутационной системы

2 Схема алгоритма моделирования

3 Листинг программы моделирования

4 Графики расчетных зависимостей

5 Ответы на контрольные вопросы

6 Выводы по работе

6.4 Контрольные вопросы

- В чем различие между коммутацией каналов, коммутацией сообщений и коммутацией пакетов?

– Типы пакетных коммутаторов.

– Функции управляющего устройства пакетного коммутатора.

– Достоинства и недостатки пакетной коммутации.

– Какие недостатки свойственны пакетным коммутаторам с пространственным разделением?

– Основные режимы коммутации пакетов.

Литература

1. Ершов, В.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети /В. А. Ершов, Н. А. Кузнецов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 432 с.
2. Соколов, Н.А. Телекоммуникационные сети. Принципы построения телекоммуникационных систем / Н. А. Соколов. – М. : Альварес Паблишинг, 2003. – 128 с.
3. Гургенидзе, А.Т., Мультисервисные сети и услуги широкополосного доступа. /А. Т. Гургенидзе, В. И. Кореш. – СПб.: Наука и техника, 2003. - 400 с.
4. Телекоммуникационные системы и сети: учеб. пособие.: в 3 т. / под ред. В. П. Шувалова. – М. : Горячая линия–Телеком, 2005. – Т. 3: Мультисервисные сети / В.В. Величко [и др.]. – 2005. – 592 с.
5. Мультисервисные АТМ-сети / Т. Б. Денисова [и др.] ; под ред. Б.Я. Лихтциндера. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 320 с.
6. Кучерявых, А. Е.Packetная сеть связи общего пользования / А. Е. Кучерявых, Л. З. Гильченко, А. Ю. Иванов. – СПб.: Наука и техника, 2004. – 272 с.
7. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: Ч. II. /М.Шварц : – М.: «Наука», 1992. – 272 с.

Учебное издание

Лапшин Сергей Михайлович, **Цветков** Виктор Юрьевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАКЕТНЫХ КОММУТАТОРОВ
С САМОМАРШРУТИЗАЦИЕЙ**

Методические указания к лабораторной работе
по курсу
«Цифровая коммутация каналов, пакетов, IP- телефония и терминальные уст-
ройства»
для студентов специальности I 45 01 03
«Сети телекоммуникаций»
всех форм обучения

Редактор Т. П. Андрейченко
Корректор

| | | |
|--------------------|------------------------|-----------------|
| Подписано в печать | Формат 60x84 1/16 | Бумага офсетная |
| Гарнитура «Таймс» | Печать ризографическая | Усл. печ. л. |
| Уч. Изд. л. 1,3 | Тираж 75 экз. | Заказ 6. |

Издатель и полиграфическое оформление: Учреждение образования «Белорус-
ский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ № 02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП № 02330/0131666 от 30.04.2004
220013, Минск, П.Бровки,6