

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

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

В. А. Аксенов, В. Ю. Цветков, М. И. Чаклова

***ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК
МНОГОЗВЕННЫХ КОММУТАЦИОННЫХ БЛОКОВ***

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к лабораторной работе
по курсу

«Основы теории телетрафика, сетей и систем телекоммуникаций»
для студентов специальностей
«Сети телекоммуникаций»,
«Системы распределения мультимедийной информации»
всех форм обучения

Минск 2007

УДК 621.395.3 (075.8)
ББК 32.882 я 73
А 42

Аксенов, В. А.

А 42 Исследование и расчет характеристик многозвенных коммутационных блоков : метод. пособие к лабораторной работе по курсу «Основы теории телетрафика, сетей и систем телекоммуникаций» для студ. спец. «Сети телекоммуникаций», «Системы распределения мультимедийной информации» всех форм обуч. / В. А. Аксенов, В. Ю. Цветков, М. И. Чаклова. – Минск : БГУИР, 2007. – 32 с. : ил.
ISBN 978-985-488-224-6

В методическом пособии рассмотрены принципы расчета вероятностных характеристик многозвенных коммутаторов на основе двух приближений: Ли и Якобеуса.

Пособие предназначено для студентов специальностей «Сети телекоммуникаций» и «Системы распределения мультимедийной информации», а также может быть использовано при курсовом и дипломном проектировании.

УДК 621.395.3 (075.8)
ББК 32.882 я 73

ISBN 978-985-488-224-6

© Аксенов В. А., Цветков В. Ю., Чаклова М. И., 2007
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

Содержание

Введение	4
1. Принципы построения и характеристики многозвенных коммутаторов	5
1.1. Принципы построения многозвенных коммутаторов	5
1.2. Блокировки в трехзвенном коммутаторе	7
1.3. Сложность и конструктивные особенности многозвенных коммутаторов	7
1.4. Пространственная, временная и пространственно-временная коммутация в многозвенных коммутаторах каналов	9
1.5. Анализ вероятности блокировки многозвенных коммутаторов: приближение Ли	13
1.6. Усовершенствованный приближенный анализ блокирующих коммутационных схем: приближение Якобеуса	17
1.7. Пропускная способность и среднее число соединений в многозвенном коммутаторе	19
2. Лабораторная работа	20
2.1. Цель работы	20
2.2. Описание лабораторной работы	20
2.3. Предварительное задание к лабораторной работе	21
2.4. Порядок выполнения лабораторной работы и методические указания	21
2.5. Требования к содержанию отчета	23
2.6. Контрольные вопросы	24
Литература	24
Приложение 1. Листинг программы исследования зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от интенсивности поступления нагрузки	25
Приложение 2. Листинг программы исследования зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от интенсивности ухода нагрузки	27
Приложение 3. Листинг программы исследования зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от значения удельной нагрузки	29
Приложение 4. Листинг программы исследования зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от числа блоков во втором звене коммутатора	31

Введение

Коммутационные системы современных узлов коммутации каналов и пакетов строятся на основе многозвенных коммутационных схем, основу которых составляют однозвенные коммутационные блоки [1].

Построение многозвенных коммутаторов является эффективным средством уменьшения структурной сложности и стоимости коммутационной системы за счет сокращения числа промежуточных путей между входами и выходами. Это приводит к блокировкам и потерям вызовов (поступлений). Важной проблемой в данном случае является расчет вероятности блокировки коммутатора и других вероятностных характеристик (производительности и среднего числа соединений) при известных характеристиках: интенсивностях поступления и ухода нагрузки, а также конструктивных параметрах коммутатора (числе входов, выходов, промежуточных звеньев, блоков в каждом промежуточном звене). Ввиду отсутствия точных выражений для нахождения вероятности блокировки широко используются приближения. Наибольшее распространение получили приближения Ли и Якобеуса. Данные приближения обеспечивают различную погрешность вычислений и имеют существенно различную вычислительную сложность. Важным вопросом в связи с этим является знание особенностей использования приближений Ли и Якобеуса для расчета многозвенных коммутационных блоков.

1. Принципы построения и характеристики многозвенных коммутаторов

1.1. Принципы построения многозвенных коммутаторов

Многозвенные коммутаторы (коммутационные системы или коммутационные схемы) используются во всех узлах коммутации каналов и быстрой коммутации пакетов. Многозвенные коммутаторы строятся посредством каскадирования некоторого числа коммутационных блоков (элементарных однозвенных коммутаторов). Средством уменьшения структурной сложности многозвенных коммутаторов и сокращения затрат на их реализацию является уменьшение числа коммутационных блоков в промежуточных звеньях. Это, однако, приводит к уменьшению числа промежуточных путей, возникновению блокировок и росту вероятности потерь вызовов (поступлений).

На рис. 1.1 представлена структурная схема однозвенного коммутатора с числом входов M и выходов N [1]. В каждой точке коммутации, в которой пересекаются входящая и исходящая линии, может находиться металлический контакт или полупроводниковый переключатель, позволяющий установить соединение между любым заданным входом и любым заданным выходом единственным возможным способом. В однозвенном

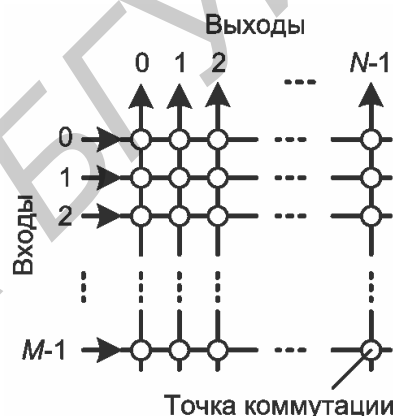


Рис. 1.1. Однозвенный коммутатор

коммутаторе при $M = N$ (квадратный коммутатор) соединение между входом и выходом возможно всегда (при условии, что требуемый выход не был соединен ранее, т. е. не является занятым). Однозвенный коммутатор такого типа при $M = N$ является неблокирующим. Однако при $M > N$ возможны блокировки и коммутатор является блокирующим. Сложность однозвенного коммутатора характеризуется числом точек коммутации, которое составляет $M \times N$.

При увеличении числа портов размер и сложность коммутационной схемы увеличиваются. Если для коммутации 10^5 каналов (приблизительно такова емкость узла системы ESS-4 [2]) воспользоваться однозвенным коммутатором $M = N = 10^5$ (квадратным и неблокирующим), то для его построения потребуется $C_N = M^2 = 10^{10}$ точек коммутации. Это количество точек коммутации является весьма большим даже при реализации на СБИС. Общий методом решения данной проблемы является переход к многозвенным (многоступенным) схемам, в которых достигается существенное сокращение числа точек коммутации при сохранении емкости и обеспечении относительно небольшой (требуемой) вероятности блокировки за счет сокращения числа промежуточных путей между входными и выходными портами.

На рис. 1.2 представлена структура квадратного трехзвенного коммутатора ($M = N$). Как видно из рисунка, входы трехзвенного коммутатора сгруппированы по $q = M/m$ и распределены по q одинаковым однозвенным коммутаторам емкостью $m \times k$ каждый, образующим первое звено (первую ступень) коммутационной системы. Второе звено образовано из k однозвенных квадратных коммутаторов емкостью $q \times q$, которые связаны с коммутаторами первого звена таким образом, что каждый коммутатор первого звена соединен с каждым коммутатором второго звена и к каждому коммутатору второго звена подключены по одному выходу с каждого коммутаторов первого звена. В третьем звене находятся p однозвенных коммутаторов емкостью $q \times t$, которые связаны с коммутаторами второго звена аналогично тому, как коммутаторы второго звена связаны с коммутаторами первого.

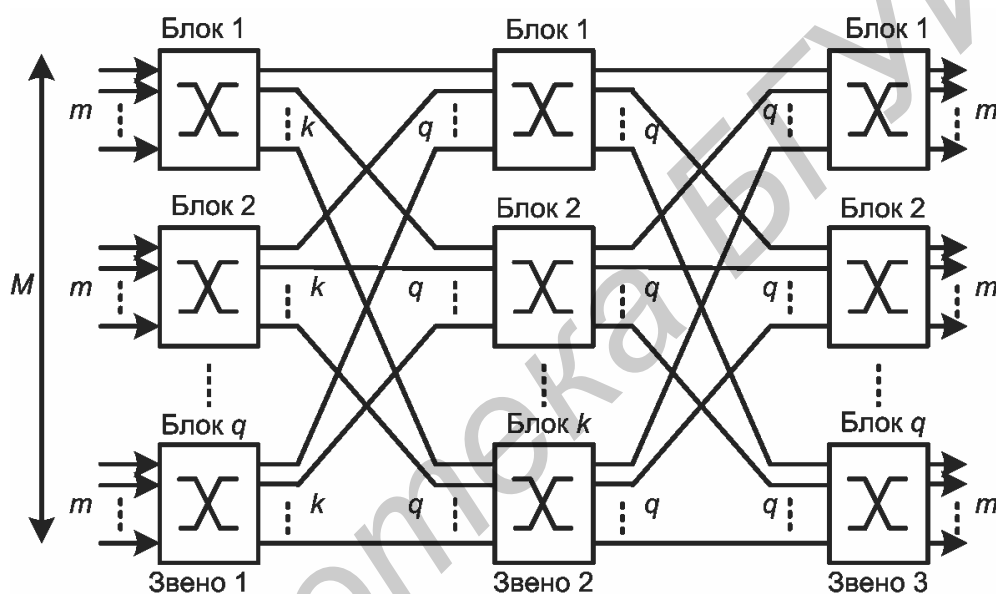


Рис. 1.2. Трехзвенный квадратный коммутатор

Число k однозвенных коммутаторов второго звена определяет число промежуточных путей между входными и выходными портами для каждого однозвенного коммутатора первого звена и, следовательно, вероятность блокировки. Число k однозвенных коммутаторов второго звена определяет сложность реализации трехзвенной коммутационной системы.

В рассматриваемом случае общее число C точек коммутации равно

$$C = 2 \cdot q \cdot m \cdot k + k \cdot q^2 = 2 \cdot M \cdot k + k \cdot \left(\frac{M}{m}\right)^2. \quad (1.1)$$

При надлежащем выборе параметров m и k сложность коммутационной схемы может быть уменьшена до величины значительно меньшей, чем M^2 , т.е. числа точек коммутации в квадратном однозвенном коммутаторе той же емкости.

1.2. Блокировки в трехзвенном коммутаторе

Трехзвенная схема типа представленной на рис. 1.2 (с расширением до четырех, пяти или более ступеней коммутации) может, как и в однозвенном случае, быть неблокирующей или блокирующей. Причем сложность неблокирующей многозвенной коммутационной схемы (измеряемая числом точек коммутации) может быть уменьшена по сравнению со случаем одной ступени. При допущении некоторой вероятности блокировки можно добиться большего снижения числа точек коммутации. Большинство современных крупных систем коммутации работают как блокирующие коммутационные схемы, но с очень малыми вероятностями блокировки. Поэтому их часто называют почти неблокирующими системами коммутации. Вероятность блокировки коммутационной схемы обычно гораздо меньше вероятности блокировки пучка. Поэтому характеристики блокировки при коммутации каналов могут быть с хорошим приближением описаны вероятностями блокировки пучка, рассчитанными по формулам Энгсета или Эрланга.

Условие неблокируемости трехзвенной схемы описал Ч. Клос [2]. В обозначениях на рис. 1.2 оно выражается равенством

$$k = 2 \cdot m - 1. \quad (1.2)$$

Данное соотношение легко доказывается путем следующего рассуждения. Пусть вызов, поступающий на i -й коммутатор первого звена, требует соединения с выходом j -го коммутатора третьего звена. Пусть при этом $m-1$ входов i -го коммутатора первого звена уже соединены (заняты), как и $m-1$ выходов j -го коммутатора третьего звена (рассматривается случай квадратного коммутатора, для которого $M=N$). Возможно, что $m-1$ занятых входов и $m-1$ занятых выходов коммутаторов первого и третьего звеньев соединены через разные коммутаторы второго звена. Для установления требуемого нового соединения нужен неиспользуемый коммутатор второго звена. Иначе наступит блокировка. Согласно рис. 1.2 каждая из k линий, соединяющих коммутаторы первого и третьего звеньев со вторым звеном, ведет к разным коммутаторам второго звена. Следовательно, для того чтобы с обеих сторон был доступен свободный коммутатор второго звена, должно соблюдаться условие

$$k = (m-1) + (m-1) + 1 = 2 \cdot m - 1. \quad (1.3)$$

Таким образом, получено достаточное условие, гарантирующее наличие доступного пути через коммутационную схему.

1.3. Сложность и конструктивные особенности многозвенных коммутаторов

При построении неблокирующей схемы на основе равенства (1.2) число точек C_N коммутации с учетом (1.1) оказывается равным

$$C_N = 2 \cdot q \cdot m \cdot k + k \cdot q^2 = 2 \cdot M \cdot (2 \cdot m - 1) + (2 \cdot m - 1) \cdot \left(\frac{M}{m}\right)^2. \quad (1.4)$$

Эта функция имеет минимум, зависящий от выбора числа m входов в коммутаторе первого звена. В частности, легко показать, что при $M > 1$ оптимальное значение m_o приблизительно равно

$$m_o \approx \sqrt{\frac{M}{2}}. \quad (1.5)$$

Соответствующее (1.5) оптимальное число C_{ON} точек коммутации для неблокирующего квадратного трехзвенного коммутатора определяется соотношением

$$C_{ON} = 4 \cdot \sqrt{2} \cdot M^{3/2}, \quad M \gg 1. \quad (1.6)$$

Это является очевидным улучшением характеристики M^2 , приведенной в п. 1.1 для однозвенного квадратного коммутатора. Если, например, $M = 10^5$, то число точек коммутации для неблокирующей трехзвенной коммутационной схемы составляет $C_{ON} = 1.7 \cdot 10^8$, что значительно меньше числа $M^2 = 10^{10}$, требуемого для однозвенного квадратного коммутатора. При $M = 10^4$ из равенства (1.6) следует оптимальное число точек коммутации $C_{ON} = 5.6 \cdot 10^6$ для трехзвенного неблокирующего квадратного коммутатора против числа точек коммутации $M^2 = 10^8$ в однозвенном квадратном коммутаторе той же емкости.

Трудность оптимизации m_o на основании (1.5) состоит в том, что невозможно гарантировать целое значение $q_o = M/m_o$ для произвольного M , определяющее согласно рис. 1.2 число коммутаторов первого звена. Например, при $M = 10^5$ на основании (1.5) $m_o = 222$. В этом случае M/m_o не является целым. Однако фактически выбор m оказывается не столь критичным. Если в рассматриваемом примере $m = 200$, то $M/m = 500$, $k = 2 \cdot m - 1 = 399$, а число точек коммутации составляет $C_N = 1.8 \cdot 10^8$, что незначительно превышает оптимальное значение $C_{ON} = 1.7 \cdot 10^8$. С другой стороны, при $m = 250$ имеет место $M/m = 400$ и также $C_N = 1.8 \cdot 10^8$.

Для неблокирующей квадратной трехзвенной коммутационной системы емкостью $M = 10^5$ даже число $C_N = 10^8$ точек коммутации, близкое к оптимальному и определяющее соответствующие этому значению стоимость и сложность реализации коммутационной системы, является слишком большим. Величины такого порядка могут быть понижены, если допустить блокировки. Однако для этого необходим вероятностный анализ коммутационной схемы с целью определения вероятности блокировки как функции параметров схемы.

Следует отметить, что условие отсутствия блокировок в трехзвенной коммутационной схеме может быть обобщено на схемы каскадного типа с большим числом ступеней коммутации при использовании строительных

блоков из трехзвенных схем. Пусть, например, каждый из квадратных коммутаторов емкостью $q \times q$ второго звена схемы (см. рис. 1.2) является трехзвенной схемой. В результате получается пятизвенная схема, обладающая такими же неблокирующими свойствами [2]. Аналогично осуществляются дальнейшие расширения.

При построении неблокирующего трехзвенного квадратного коммутатора на основании (1.2) общее число W промежуточных путей определяется выражением

$$W = k \cdot q = (2 \cdot m - 1) \cdot \frac{M}{m} = 2 \cdot M - \frac{M}{m} = 2 \cdot M - q. \quad (1.7)$$

Согласно (1.7) общее число промежуточных путей почти в два раза превосходит максимально возможное число соединений, устанавливаемых в трехзвенном квадратном неблокирующем коммутаторе. С другой стороны, максимально число соединений не может превосходить числа M входных портов коммутатора. Данное противоречие обусловлено тем, что условие (1.2) не учитывает возможности оптимизации управляющей системы, позволяющие таким образом подбирать промежуточные пути, чтобы максимально эффективно использовать пропускную способность коммутаторов второго звена. При оптимизации управляющей системы число коммутаторов второго звена трехзвенной квадратной неблокирующей системы определяется как

$$k = \frac{M}{m} = q. \quad (1.8)$$

В этом случае $W = M$.

1.4. Пространственная, временная и пространственно-временная коммутация в многозвенных коммутаторах каналов

Рассмотренные схемы многозвенной коммутации ориентированы не только на пространственную, но также временную и пространственно-временную коммутацию. Анализ блокирующих свойств выполняется для этих коммутаторов одинаково. Современные крупные системы коммутации строятся многозвенными на основе ступеней пространственной и временной коммутаций, в результате чего в них реализуется пространственно-временная коммутация.

Временная коммутация непосредственно связана с временным разделением каналов (временным уплотнением) и реализуется для канальных интервалов в пределах только одного цифрового потока. Широкое распространение в технике цифровой коммутации каналов получил первичный цифровой поток Е1 (Т1), состоящий из 32 (24) канальных интервалов. Использование цифровых групповых потоков для ввода и вывода информации в коммутационных системах обусловлено необходимостью сокращения числа портов и структурной сложности коммутатора. Например, реализация цифрового коммутатора каналов емкостью $M = N = 10^5$ требует при использовании

пространственной коммутации такое же число входных и выходных портов, обеспечивающих интерфейсы для организации основного цифрового канала со скоростью передачи информации 64 Кбит/с. Использование для ввода-вывода информации первичных цифровых потоков E1 со скоростью передачи информации 2048 Кбит/с позволяет сократить число входных и выходных портов коммутатора в 30 раз с учетом того, что два канальных интервала (0-й и 16-й) задействуются для передачи сигналов синхронизации и межстанционной сигнализации и не могут использоваться для передачи речи. Коммутатор в последнем случае имеет 3334 портов и реализует пространственно-временную коммутацию. Число портов в коммутаторе может быть сокращено еще в 4 раза при использовании для ввода-вывода информации вторичных цифровых потоков E2 (скорость передачи информации 8448 Кбит/с; 128 канальных интервалов; 120 речевых канальных интервалов). Это требует, однако, более высокой скорости коммутации и быстродействующей элементной базы для построения коммутационной системы.

Канальные интервалы каждого цикла цифрового потока E1 (T1) при поступлении в систему коммутации записываются в память (буфер) в порядке поступления. Временная коммутация выполняется в результате считывания канальных интервалов в требуемом порядке. В результате информация на выходе временного коммутатора переупорядочивается. И хотя в частном случае возможно переупорядочивание информации всех канальных интервалов входного потока, временную коммутацию в общем случае нельзя рассматривать как перестановку, поскольку информация канальных интервалов на выходе временного коммутатора может повторяться. Устройство, выполняющее временную коммутацию, иногда называют коммутатором канальных интервалов. Пример реализации временной коммутации потока E1 представлен на рис. 1.3.

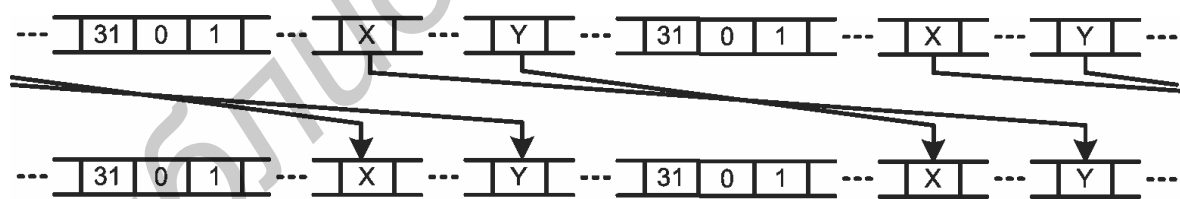


Рис. 1.3. Временная коммутация канальных интервалов в потоке E1

Представленный на рис. 1.3 цикл первичного цифрового потока E1 состоит из 32 канальных интервалов, два из которых (X и Y) подвергаются временной коммутации. Временной коммутатор может быть представлен в виде двух блоков памяти – входного и выходного, связанных непосредственно со входным и выходным портами временного коммутатора и состоящих из 32 ячеек памяти по 8 бит каждый. При поступлении потока E1 в коммутатор осуществляется запись всех 32 канальных интервалов во входную память. Информация записывается в ячейки памяти в порядке поступления канальных интервалов на вход коммутатора. Временная коммутация осуществляется в

результате переписи информации из ячеек входной памяти в ячейки выходной памяти за 32 такта. Считывание информации канальных интервалов из ячеек входной памяти происходит таким образом, что в ячейку Y выходной памяти записывается информация из ячейки X входной памяти, а в ячейку X выходной памяти записывается информация из ячейки Y входной памяти.

Точно так же, как для пространственных коммутаторов существует ограничение на число и сложность реализации точек коммутации, на временные коммутаторы накладывается ограничение на число каналов, которые могут объединиться в цикле. Объединение большего числа каналов требует большей памяти и становится более дорогим с увеличением числа каналов. Еще одно ограничение связано со скоростью доступа, которое требует использования быстродействующей памяти. Пусть t_{RW} – время доступа к памяти в микросекундах, требуемое для записи в память и считывания из памяти информации одного канального интервала. Для стандартного значения периода дискретизации 125 мкс число m каналов, объединяемых в одном цикле составляет

$$m = \frac{125}{2 \cdot t_{RW}}. \quad (1.9)$$

При использовании 500-наносекундной логики это означает, что максимальное число каналов может быть равно 125. При 50-наносекундной логике оно возрастает до 1250 и т. д.

В системе ESS-4 применяются временные коммутаторы на 120 каналов при наличии 128 канальных интервалов в коммутационной схеме (коммутационная система на основе потока E2) [2]. Система коммутации, обрабатывающая такое число каналов (вся система ESS-4 рассчитана на 100 000 каналов), требует в случае пространственной неблокирующей однозвенной коммутации $C_N = M^2 = 10^{10}$ точек коммутации. При использовании для распределения информации пространственно-временной коммутации с одной ступенью число точек коммутации сокращается до $C_N = M^2 = \lceil 10^5 / 120 \rceil^2 = 695556$, где $\lceil \cdot \rceil$ – операция округления с избытком. При использовании пространственно-временной коммутации на основе неблокирующей трехзвенной схемы число точек коммутации согласно (1.6) составляет $C_N = 4 \cdot \sqrt{2} \cdot (834)^{3/2} = 135841$. Если бы вместо этого была применена трехзвенная неблокирующая пространственная схема, потребовалось бы $C_N = 178352461$ точек коммутации. Таким образом, преимущество применения техники временной коммутации очевидно.

Требуемый объем памяти в битах для реализации временного коммутатора определяется выражением

$$E = 4 \cdot m \cdot 8 + n \cdot \log_2 m, \quad (1.10)$$

где n – число канальных интервалов в цифровом потоке.

Первое слагаемое выражения (1.10) определяет объем памяти для записи речевой информации и учитывает необходимость наличия в коммутаторе 4 буферов по t байт каждый (рис. 1.4), а второе – объем памяти адресов.



Рис. 1.4. Структура временного коммутатора

При числе канальных интервалов в цифровом потоке $m = 32$ объем памяти составляет $E = 4 \cdot 32 \cdot 8 + 32 \cdot 5 = 1184$ бит. Реализация такого коммутатора на современной элементной базе достаточно проста. То же относится и к временному коммутатору канальных интервалов цифрового потока E_2 , для которого при $m = 128$ емкость памяти составляет $E = 4 \cdot 128 \cdot 8 + 128 \cdot 7 = 4992$ бит.

Поскольку число каналов, которые могут обрабатываться временными коммутаторами, ограничено, в больших системах коммутации применяются каскады из временных и пространственных коммутаторов.

В технике коммутации каналов распространена коммутационная схема типа «время-пространство-время» (В-П-В), в которой между первой и третьей ступенями (Т-ступенями – от английского слова «time»), образованными временными коммутаторами, включен пространственный коммутатор (S-ступень – от английского слова «space») (рис. 1.5). Если S-ступень представляет собой однозвенный квадратный коммутатор, то такая коммутационная схема аналогична трехзвенной схеме пространственной коммутации, представленной на рис. 1.2 (в данном контексте последняя может быть обозначена П-П-П). Однако S-ступень может быть и многозвенным коммутатором.

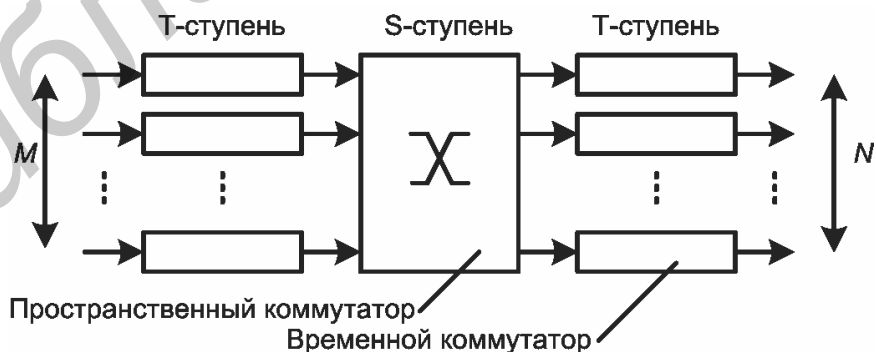


Рис. 1.5. Схема коммутации типа В-П-В

В схеме В-П-В (см. рис. 1.5) канальные интервалы сгруппированы в цифровые потоки по m канальных интервалов в каждом. Цифровые потоки

поступают на $q = M/m$ временных коммутаторов первой ступени. Для того чтобы выполнялось условие (1.2), необходимо, чтобы число k канальных интервалов в выходном потоке временного коммутатора было бы больше числа канальных интервалов во входном потоке. При постоянной длительности цикла 125 мкс необходимо, чтобы скорость выходного потока была бы больше скорости входного в k/m раз. Выход каждого временного коммутатора первой Т-ступени соединен с одним входом коммутатора S-ступени емкостью $q \times q$ (в этом случае рассматриваемая коммутационная схема типа В-П-В является квадратной). В свою очередь каждый из q -выходов S-ступени соединен с соответствующим временным коммутатором второй Т-ступени. Входной цифровой поток временных коммутаторов второй Т-ступени состоит из m канальных интервалов и имеет в k/m раз более высокую скорость, чем выходной.

1.5. Анализ вероятности блокировки многозвенных коммутаторов: приближение Ли

Задача определения вероятности блокировки в многозвенной коммутационной схеме состоит в том, чтобы рассчитать вероятность отсутствия свободного соединительного пути через коммутационную схему между заданной парой «вход-выход», если задана конкретная схема, указано число входов и выходов, а также вероятность занятости линии (канала). Эта задача достаточно сложна: необходимо рассмотреть множество возможных путей в большой коммутационной схеме, что требует применения комбинаторных методов. Однако еще более существенны зависимости между вероятностями блокировки различных звеньев соединительного пути, которые делают задачу почти неразрешимой. Поэтому обычно при расчетах пользуются приближениями.

Простейшее приближение, предложенное Ли [2], основано на предположении о независимости вероятностей занятости отдельных звеньев соединительного пути. Если эти вероятности известны, тогда задача расчета общей вероятности блокировки схемы становится разрешимой, хотя по-прежнему сложной. Данная задача похожа на задачу, встречающуюся в теории надежности и живучести сетей связи, где при заданной вероятности выхода из строя отдельного звена (что равноценно рассматриваемой здесь занятости) рассчитывается общая надежность сети. Другим примером является расчет вероятности блокировки из конца в конец в сети с коммутацией каналов, если известны вероятности блокировки отдельных путей. Подход Ли предусматривает использование для расчетов вероятности блокировки коммутационных схем вероятностных графов.

На рис. 1.6 показана часть трехзвенной пространственной схемы П-П-П, отображающая две группы каналов, которые должны соединяться друг с другом: одну входящую и другую исходящую. Следует помнить о полной

аналогии между схемой П-П-П и схемой В-П-В. Блокировка может возникнуть при нарушении условия (1.2).

Пусть $k > m$. Это гарантирует неблокируемость входного и выходного коммутаторов, или, в случае схемы В-П-В, временных коммутаторов канальных интервалов. Рассматриваемая схема может относиться к узлу, служащему для установления маршрутов от пучка входящих каналов к пучку исходящих каналов.

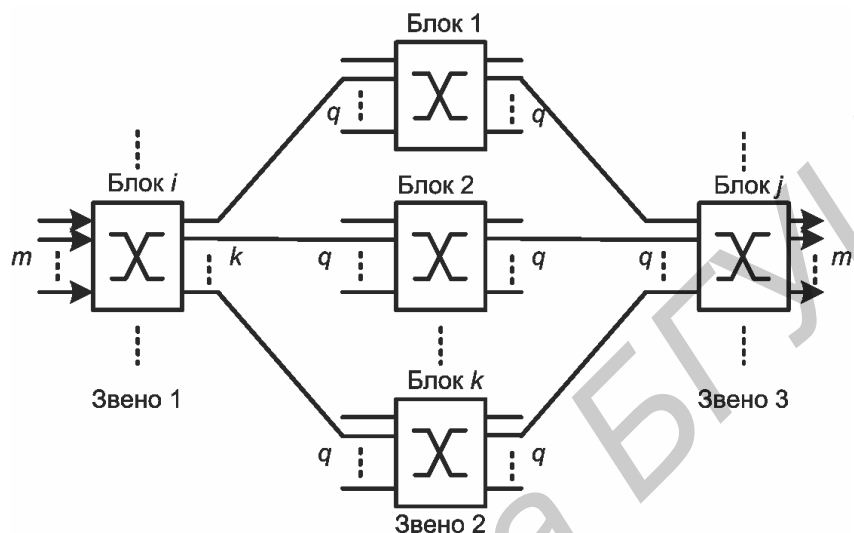


Рис. 1.6. Фрагмент трехзвенной схемы коммутации

Случай $k < m$ представляет концентратор. В данном случае блокировку вносят сами входные коммутаторы. Расчет общей вероятности блокировки за счет концентрации на входе, а также за счет недоступности выходов коммутаторов второй (средней) ступени оказывается более сложным. Если удельная нагрузка на входящий канал низкая, вероятностью блокировки во входном коммутаторе можно пренебречь, в результате чего получается рассматриваемая модель. Такая процедура приводит к приближенной модели конечной или учрежденческой станции, нагрузка которых концентрируется и коммутируется через сравнительно небольшое число соединительных линий.

В случае $k > m$ вероятность занятости входящего канала a определяется исходя из биномиального распределения при $M = N$ согласно выражению:

$$a = \frac{I}{I + m}, \quad (1.11)$$

где I – интенсивность поступления нагрузки на входы коммутатора, m – интенсивность уходов нагрузки (освобождения коммутатора) [1, 2].

Если коммутационная система является однородной, т.е. параметр a является одинаковым для всех входящих каналов, то вероятность занятия типового исходящего канала на рис. 1.6 также равна a . Если входящая нагрузка равномерно распределена по k промежуточным звеньям, то вероятность p занятия промежуточного звена составляет

$$p = \frac{a \cdot m}{k}. \quad (1.12)$$

В случае схемы В-П-В промежуточным звеньям соответствуют каналные интервалы. Очевидно, что при однородной нагрузке пропущенная нагрузка через m входящих каналных интервалов может также считаться распределенной равномерно по k исходящим каналным интервалам при условии, что вероятность p занятости исходящего каналного интервала в временном коммутаторе одинакова.

Полный путь от входа до выхода через один из k неблокирующих коммутаторов средней ступени проходит по схеме П-П-П, показанной на рис. 1.6, через два звена. В случае схемы В-П-В соединение от входящего временного коммутатора первого звена к исходящему временному коммутатору третьего звена требует подбора совпадающих каналных интервалов на входе и выходе пространственного коммутатора средней ступени. При предположении независимости вероятностей занятия каждого звена коммутационной схемы вероятность блокировки находится как вероятность того, что от входящего канала до исходящего канала нет свободного пути. В случае схемы В-П-В это соответствует вероятности того, что два каналных интервала, один из которых принадлежит входному временному коммутатору, а другой – выходному временному коммутатору, не совпадают между собой. Эта вероятность имеет вид

$$P_B = \left(1 - (1 - p)^2\right)^k. \quad (1.13)$$

Выражение (1.13) не равно нулю при выполнении условия (1.2), т.е. в случае неблокирующей схемы Клоса, что говорит о погрешности приближения.

Пусть, например, $m = 120$, $k = 128$ (система ESS-4) и коэффициент использования входящего канала $a = 0.7$. Тогда вероятность блокировки составляет $P_B = 0.882^{128} \approx 10^{-7}$. При $a = 0.9$ вероятность блокировки возрастает до 0.042. Это показывает чувствительность результата к коэффициенту использования канала на входе.

В случае системы П-П-П переход к блокирующей схеме приводит к уменьшению числа точек коммутации. В схемах В-П-В вместо увеличения числа точек коммутации необходимо увеличивать число каналных интервалов. При $M = 96\ 000$ линий на входе оптимальная неблокирующая трехзвенная коммутационная схема включает $1.7 \cdot 10^8$ точек коммутации. При этом число входящих каналов во входном коммутаторе $m = 219$ (число явно непрактичное). При выборе $m = 200$ и $k = 399$ получается еще большее число точек коммутации. Если же $n = 120$ и $k = 128$, число точек коммутации составляет $C = 1.06 \cdot 10^8$. Хотя достигается уменьшение числа точек коммутации почти вдвое, все же это число остается очень большим. В случае схемы В-П-В при $m = 120$ и $k = 128$ средний пространственный коммутатор имеет емкость 800×800 . Это означает явное уменьшение числа точек коммутации, но дополнительное

требование установки по 800 временных коммутаторов канальных интервалов на входах и на выходах пространственного коммутатора. Причем как временные коммутаторы, так и пространственный коммутатор работают с $k = 128$ канальными интервалами в течение цикла. Дальнейшее уменьшение числа точек коммутации, или, что эквивалентно, организация работы с более высоким коэффициентом использования коммутируемых каналов может быть достигнута путем перехода к нескольким пространственным ступеням. Коммутационное поле системы ESS-4 имеет структуру В-П-П-П-В [2].

Вероятность блокировки таких более сложных многоступенных коммутационных схем может быть приближенно вычислена с помощью графа Ли.

На рис. 1.7 представлена коммутационная схема типа В-П-П-П-В. Обозначения, которые применялись при обсуждении схемы В-П-В, изменены в соответствии с потребностью описания этой более крупной системы. Так, число входных канальных интервалов или каналов в ККИ первой ступени обозначено c , а соответствующее число выходных канальных интервалов h . Иначе говоря, каждый вход обеспечивает организацию c каналов. Всего на первой, а также последней ступени коммутационной схемы имеется N временных коммутаторов. Общее число входящих каналов составляет $J = N \cdot c$.

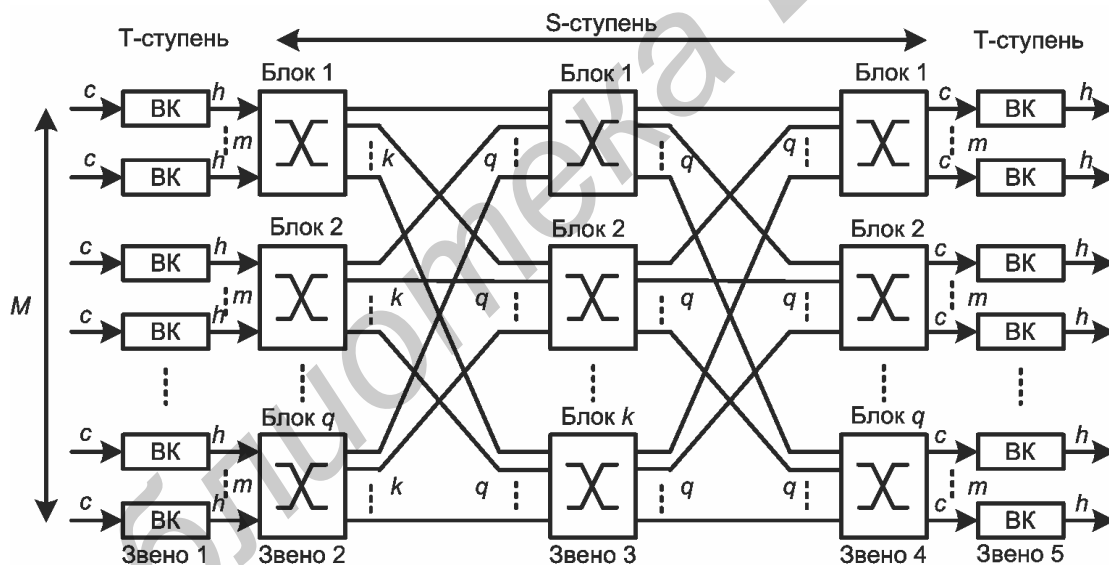


Рис. 1.7. Квадратная пятизвенная коммутационная схема типа В-П-П-П-В

Приближенное выражение для вероятности блокировки, полученное на основе метода вероятностных графов Ли, имеет вид

$$P_B = \left(1 - q_1^2 \cdot \left(1 - \left(1 - q_2^2\right)^k\right)\right)^h, \quad (1.14)$$

где $q_1 = 1 - a/e$, $q_2 = 1 - a/e \cdot b$, $e = h/c$ – коэффициент расширения временной ступени (сравнимый с k/m в случае схемы В-П-В); $b = k/m$ – коэффициент расширения пространственной ступени; a – вероятность занятого состояния входящего канала.

1.6. Усовершенствованный приближенный анализ блокирующих коммутационных схем: приближение Якобеуса

Недостаток приближения Ли состоит в том, что в ряде случаев оно дает неточные результаты. Более точное, хотя и более сложное приближение для вероятности блокировки P_B (вероятности потерь по времени) в многозвенных схемах предложено К. Якобеусом [2] и определяется для схемы типа П-П-П и аналогичной ей В-П-В согласно выражению

$$P_B = \frac{(m!)^2 \cdot (2-a)^{2 \cdot m - k} \cdot a^k}{k! \cdot (2 \cdot m - k)!}. \quad (1.15)$$

Вероятность потерь P_L (потери по вызовам) и вероятность блокировки P_B (потери по времени) в трехзвенном коммутаторе при предположении о независимости связаны выражением

$$P_L(m) = P_B(m-1). \quad (1.16)$$

При m входах в коммутаторе первого звена в трехзвенной коммутационной схеме могут быть заняты самое большее m из k блоков среднего звена. Приближение Ли это не учитывает. При $k = m$ это ограничение входящих вызовов выполняется автоматически, и оба выражения для вероятности блокировки оказываются одинаковыми. При $k > m$ формула Якобеуса дает меньшие значения, чем формула Ли.

Тот факт, что формула Якобеуса дает лишь приближение для вероятности блокировки, становится очевидным, если в равенстве (1.15) положить $k = 2 \cdot m - 1$. При этом условии коммутационная схема является неблокирующей. Однако равенство (1.15) при этом значении k дает очень небольшое, но все же ненулевое значение. Исследования методом имитационного моделирования показывают, что формула Якобеуса дает лучшее приближение вероятности блокировки, чем формула Ли.

В табл. 1.1 приводятся значения вероятности блокировки P_B , полученные на основании равенства (1.15) для симметричных коммутационных схем при различных значениях вероятности a занятия входящих линий и различном числе входов в коммутационных блоках первого звена [2].

Таблица 1.1

Вероятности потерь для различных конструктивных параметров временных коммутаторов по формуле Якобеуса

m	k	$a = 0.7$	$a = 0.8$	$a = 0.9$	$a = 1.0$
105	128	$2.8 \cdot 10^{-11}$	$3.3 \cdot 10^{-9}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$	0.0038
120	128	$3.5 \cdot 10^{-8}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	0.03	0.51
240	256	$1.3 \cdot 10^{-15}$	$1.8 \cdot 10^{-8}$	$8.9 \cdot 10^{-4}$	0.3
480	512	$3.3 \cdot 10^{-30}$	$5.1 \cdot 10^{-16}$	$1.1 \cdot 10^{-8}$	0.1
384	384	$1.1 \cdot 10^{-16}$	$1.1 \cdot 10^{-7}$	0.017	0.99
384	386	$3.1 \cdot 10^{-17}$	$4.7 \cdot 10^{-8}$	0.011	0.98

Из табл. 1.1 следуют почти неблокирующие свойства рассматриваемых схем. При значении $a = 0.7$, которое обычно приводится в качестве проектного значения нагрузки транзитных узлов, все схемы имеют достаточно низкую вероятность потерь (блокировки). Это является следствием больших значений параметров m и k . Известно, что даже небольшое увеличение ресурсов (каналов или промежуточных линий) приводит к резкому улучшению характеристик обслуживания, если поступающая нагрузка носит статистический характер, а количество ресурсов достаточно велико. Это происходит благодаря пуассоновскому (независимому) характеру моделей входящих потоков и справедливо для большинства реальных систем, когда увеличиваются как m , так и k , и поступающие вызовы с большей вероятностью могут найти незаблокированный путь (хотя в среднем на всю коммутационную систему поступает большее количество вызовов), а вероятность потерь (или блокировок) быстро уменьшается.

Таким образом, при сохранении фиксированного отношения k/m , вероятность P_L (или P_B) быстро уменьшается с ростом m (и k). Схема с коммутаторами емкостью 240×256 имеет лучшие характеристики, чем с коммутаторами 120×128 . Аналогичные характеристики при $a \leq 0.9$ дает схема с коммутаторами емкостью 480×512 . Резкое улучшение характеристики качества обслуживания дает увеличение отношения k/m . В частности, из табл. 1.1 видно, что значительное уменьшение вероятности потерь происходит при переходе от коммутаторов 120×128 к коммутаторам 105×128 (система ESS-4). Даже квадратные коммутаторы емкостью 384×384 дают хорошие характеристики вплоть до значений a , приближающихся к единице. Небольшое увеличение k до 386 приводит при $a = 0.7$ или $a = 0.8$ к улучшению характеристик обслуживания в 2–3 раза. Во всех случаях, показанных в табл. 1.1, вероятности потерь (блокировки) резко увеличиваются при приближении a к 1. Очевидно, что перегрузка даже больших коммутаторов неизбежно должна приводить к блокировке. Поэтому должны предусматриваться механизмы управления перегрузкой.

Сравнительные данные для приближений Ли и Якобеуса, приведенные в табл. 1.2 [2], показывают, что вероятность блокировки, полученная с помощью приближения Якобеуса, меньше вероятности, полученной методом Ли.

Таблица 1.2

Вероятности блокировки коммутаторов по формулам Якобеуса и Ли для $a = 0.7$

m	k	P_B по Ли	P_B по Якобеусу	m	k	P_B по Ли	P_B по Якобеусу
64	64	0.002	0.002	64	76	$8 \cdot 10^{-7}$	$1.5 \cdot 10^{-7}$
64	68	0.0002	0.00016	120	128	10^{-7}	$3.5 \cdot 10^{-8}$
64	72	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$6.2 \cdot 10^{-6}$	240	256	10^{-14}	$1.3 \cdot 10^{-15}$

1.7. Пропускная способность и среднее число соединений в многозвенном коммутаторе

Вероятность блокировки P_B позволяет вычислить ряд других характеристик коммутатора. Это в первую очередь производительность и среднее число соединений. Вычисление данных характеристик для многозвенных коммутаторов осуществляется точно также, как для однозвенных коммутаторов [1, 2].

Производительность g коммутатора (коммутационной системы) равна обслуженной нагрузке (нагрузке, прошедшей на выход коммутатора), т.е. пропускной способности коммутационной системы и определяется числом клиентов, обслуживаемых за секунду, или числом вызовов, принятых системой в единицу времени:

$$g = I \cdot (1 - P_B). \quad (1.17)$$

Среднее число соединений $E(n)$ в системе коммутации определяется на основании выражения

$$E(n) = r \cdot (1 - P_B), \quad r = \frac{1}{m}. \quad (1.18)$$

При возрастании интенсивности r вероятность блокировки $P_B \rightarrow 1$ и $E(n) \rightarrow N$.

2. Лабораторная работа

2.1. Цель работы

Изучить принципы построения и функционирования, а также вероятностные характеристики многозвенных коммутаторов.

2.2. Описание лабораторной работы

Лабораторная работа разработана в математическом пакете MathCad 2000 и представляет собой четыре программные модели, позволяющие исследовать вероятностные характеристики многозвенных квадратных (симметричных) коммутаторов в следующих условиях:

- исследование зависимостей вероятности потерь вызовов $P_B(I, m, M, q, k)$, производительности $g(I, m, M, q, k)$ и среднего числа соединений $E(I, m, M, q, k)$ в коммутаторе от интенсивности поступления нагрузки I при постоянных значениях интенсивности уходов m , числа входов M коммутатора, числа блоков в первом q и втором k звеньях коммутатора;

- исследование зависимостей вероятности потерь вызовов $P_B(I, m, M, q, k)$, производительности $g(I, m, M, q, k)$ и среднего числа соединений $E(I, m, M, q, k)$ в коммутаторе от интенсивности ухода нагрузки m при постоянных значениях интенсивности поступления нагрузки I , числа входов M коммутатора, числа блоков в первом q и втором k звеньях коммутатора;

- исследование зависимостей вероятности потерь вызовов $P_B(r, I, M, q, k)$, производительности $g(r, I, M, q, k)$ и среднего числа соединений $E(r, I, M, q, k)$ в коммутаторе от соотношения $r = I/m$ при постоянных значениях интенсивности поступления нагрузки I , числа входов M коммутатора, числа блоков в первом q и втором k звеньях коммутатора;

- исследование зависимостей вероятности потерь вызовов $P_B(r, I, m, k)$, производительности $g(r, I, m, k)$ и среднего числа соединений $E(r, I, m, k)$ в коммутаторе от числа блоков k во втором звене коммутатора при постоянных значениях интенсивности поступления нагрузки I , соотношений $m = M/q$ и $r = I/m$.

Каждая из программных моделей оформлена в виде отдельного mcd-файла, включающего следующие основные части:

- раздел описания переменных;
- реализацию функции, представляющей программную модель коммутатора (приложения 1 – 4);
- раздел инициализации переменных (аргументов функции);
- блок вычислений, состоящий из вызова функции, преобразования значений функции и представления полученных результатов моделирования в виде таблиц и графиков.

Программные модели построены на основе двух основных соотношений:

- формулы Ли;
- формулы Якобеуса.

Вне зависимости от условий результаты моделирования формируются для обоих приведенных формул. Основной задачей при выполнении лабораторной работы является корректный выбор базовой формулы для построения программной модели коммутатора в конкретных условиях.

2.3. Предварительное задание к лабораторной работе

Перед выполнением лабораторной работы необходимо выполнить следующее предварительное задание.

1. Изучить математические модели и принципы расчета вероятностных характеристик многозвенных коммутаторов (см. гл. 1).

2. Изучить принципы построения программных моделей многозвенных коммутаторов по листингам программ, приведенным в приложениях 1–4. Каждая программная модель реализует вычисление вероятностных характеристик однозвенного коммутатора по формулам Ли и Якобеуса и состоит из двух соответствующих частей.

3. Составить блок-схемы алгоритмов расчета вероятностных характеристик многозвенного коммутатора по формулам Ли и Якобеуса для программной модели, представленной в приложении 1. Определить соответствующие части в программных моделях, представленных в приложениях 2–4. Сделать вывод об очередности выполнения вычислений по формулам Ли и Якобеуса в программных моделях (приложения 1–4) и индексах переменных, представляющих результаты моделирования. Это необходимо для правильной интерпретации результатов моделирования в процессе выполнения лабораторной работы.

2.4. Порядок выполнения лабораторной работы и методические указания

1. *Исследование зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от интенсивности поступления нагрузки.*

1.1. Запустить программу 2-1.mcd.

1.2. Определить значения переменных, воспользовавшись следующими рекомендациями: $I = \overline{0.01, 1}$; шаг $\Delta I = \overline{0.05, 0.3}$ изменения значения I ; $m = \overline{0.01, 1}$; $Mx = \overline{10, 10^5}$ – для формулы Ли; $Mx = \overline{10, 500}$ – для формулы Якобеуса; $x = 1, 2$.

1.3. Используя результаты выполнения п. 3 предварительного задания, снять зависимости $P_B(I, m, M, q, k)$, $g(I, m, M, q, k)$ и $E(I, m, M, q, k)$ от I при

постоянных значениях m , M , q и k , включая предельный случай неблокирующего коммутатора Клоса.

1.4. На графиках $P_B(I, m, M, q, k)$, $g(I, m, M, q, k)$ и $E(I, m, M, q, k)$ указать области определения и значений функций.

1.5. На графиках $P_B(I, m, M, q, k)$, $g(I, m, M, q, k)$ и $E(I, m, M, q, k)$ указать стрелками изменения области определения функций при увеличении и уменьшении значения m , а также изменение характера зависимостей при увеличении и уменьшении значений q и k .

1.6. Сопоставить результаты с результатами, полученными для однозвенных коммутаторов (лабораторная работа № 1 [1]). Сделать выводы.

1.7. Задавшись значениями M_1 , q_1 и k_1 , подбором значений M_2 , q_2 и k_2 , добиться совпадения приближений Ли и Якобеуса. Сделать вывод о возможности использования данных распределений.

2. *Исследование зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от интенсивности ухода нагрузки.*

2.1. Запустить программу 2-2.mcd.

2.2. Определить значения переменных, воспользовавшись следующими рекомендациями: $\overline{m} = 0.01, 1$; шаг $\Delta m = 0.05, 0.3$ изменения значения m ; $\overline{I} = 0.01, 1$; $\overline{Mx} = 10, 10^5$ – для формулы Ли; $\overline{Mx} = 10, 500$ – для формулы Якобеуса; $x = 1, 2$.

2.3. Используя результаты выполнения п. 3 предварительного задания, снять зависимости $P_B(I, m, M, q, k)$, $g(I, m, M, q, k)$ и $E(I, m, M, q, k)$ от m при постоянных значениях I , M , q и k , включая предельный случай неблокирующего коммутатора Клоса.

2.4. На графиках $P_B(I, m, M, q, k)$, $g(I, m, M, q, k)$ и $E(I, m, M, q, k)$ указать области определения и значений функций.

2.5. На графиках $P_B(I, m, M, q, k)$, $g(I, m, M, q, k)$ и $E(I, m, M, q, k)$ указать стрелками изменения области определения функций при увеличении и уменьшении значения I , а также изменение характера зависимостей при увеличении и уменьшении значений q и k .

2.6. Сопоставить результаты с результатами, полученными для однозвенных коммутаторов (лабораторная работа № 1 [1]). Сделать выводы.

3. *Исследование зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от соотношения $r = I/m$.*

3.1. Запустить программу 2-3.mcd.

3.2. Определить значения переменных, воспользовавшись следующими рекомендациями: $r = 0.01, 1$; шаг $\Delta r = 0.05, 0.3$ изменения значения r ;

$I = \overline{0.01, 1}$; $Mx = \overline{10, 10^5}$ – для формулы Ли; $Mx = \overline{10, 500}$ – для формулы Якобеуса; $x = 1, 2$.

3.3. Используя результаты выполнения п. 3 предварительного задания, снять зависимости $P_B(r, I, M, q, k)$, $g(r, I, M, q, k)$ и $E(r, I, M, q, k)$ от $r = I/m$ при постоянных значениях I , M , q и k , включая предельный случай неблокирующего коммутатора Клоса.

3.4. На графиках $P_B(r, I, M, q, k)$, $g(r, I, M, q, k)$ и $E(r, I, M, q, k)$ указать области определения и значений функций.

3.5. На графиках $P_B(r, I, M, q, k)$, $g(r, I, M, q, k)$ и $E(r, I, M, q, k)$ указать стрелками изменения области определения функций при увеличении и уменьшении значения I , а также изменение характера зависимостей при увеличении и уменьшении значений q и k .

3.6. Сопоставить результаты с результатами, полученными для однозвенных коммутаторов (лабораторная работа № 1 [1]). Сделать выводы.

4. *Исследование зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от числа блоков k во втором звене коммутатора.*

4.1. Запустить программу 2-4.mcd.

4.2. Определить значения переменных, воспользовавшись следующими рекомендациями: $k = \overline{10, 100}$; шаг $\Delta k = \overline{1, 10}$ изменения значения k ; $r = \overline{0.01, 1}$; $I = \overline{0.01, 1}$.

4.3. Используя результаты выполнения п. 3 предварительного задания, снять зависимости $P_B(r, I, m, k)$, $g(r, I, m, k)$ и $E(r, I, m, k)$ от k при постоянных значениях I , $m = M/q$ и $r = I/m$.

4.4. На графиках $P_B(r, I, m, k)$, $g(r, I, m, k)$ и $E(r, I, m, k)$ указать области определения и значений функций.

4.5. На графиках $P_B(r, I, m, k)$, $g(r, I, m, k)$ и $E(r, I, m, k)$ указать стрелками изменение характера зависимостей при увеличении и уменьшении значения m .

4.6. Сопоставить результаты с результатами, полученными для однозвенных коммутаторов (лабораторная работа № 1 [1]). Сделать выводы.

2.5. Требования к содержанию отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее.

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Результаты выполнения п. 3 предварительного задания.
3. Результаты выполнения пунктов 1-4 лабораторного задания.
4. Выводы.

2.6. Контрольные вопросы

1. Принципы построения многозвенных коммутаторов каналов.
2. Структура и принципы функционирования трехзвенного коммутатора каналов. Определение числа точек коммутации.
3. Блокировки в трехзвенном коммутаторе. Условие неблокируемости Клоса.
4. Влияние на характеристики трехзвенных коммутаторов их конструктивных параметров – числа блоков в промежуточном звене, числа входов в блоке и т. д.
5. Оптимизация конструктивных параметров трехзвенных коммутаторов.
6. Пространственная и временная коммутация. Коммутаторы типа П-П-П и В-П-В. Принципы построения S- и T-ступеней многозвенных коммутаторов.
7. Приближение Ли.
8. Приближение Якобеуса.
9. Коммутатор Клоса. Оценка погрешностей приближений Ли и Якобеуса для предельного случая неблокируемого коммутатора Клоса
10. Производительность и среднее число соединений в системе коммутации. Соотношение между производительностью и нагрузкой коммутатора.
11. Изменения характера зависимостей вероятности блокировки, производительности и среднего числа соединений в коммутационной системе от интенсивности поступления нагрузки при изменении числа блоков в первом и втором звеньях коммутатора.
12. Изменения характера зависимостей вероятности блокировки, производительности и среднего числа соединений в коммутационной системе от интенсивности поступления нагрузки при изменении интенсивности уходов.
13. Изменения характера зависимостей вероятности блокировки, производительности и среднего числа соединений в коммутационной системе от нормированной интенсивности поступления нагрузки при изменении числа блоков в первом и втором звеньях коммутатора.
14. Изменения характера зависимостей вероятности блокировки, производительности и среднего числа соединений в коммутационной системе от отношения числа выходов к числу блоков в первом звене коммутатора при изменении интенсивности поступления нагрузки.

Литература

1. Аксенов, В.А. Исследование вероятностных характеристик однозвенных коммутационных блоков: метод. пособие по курсу «Основы теории телетрафика, сетей и систем телекоммуникаций» для студ. спец. «Сети телекоммуникаций», «Системы распределения мультимедийной информации» всех форм обуч. / В. А. Аксенов, В. Ю. Цветков, М. И. Чаклова. – Минск: БГУИР, 2007. – 32 с.: ил.
2. Шварц, М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ / М. Шварц. В 2-х ч. Ч. II: пер. с англ. – М.: «Наука», 1992. – 272 с.

Приложение 1

Листинг программы исследования зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от интенсивности поступления нагрузки

Описание переменных:

L – интенсивность потока поступления нагрузки I (на одном входе коммутатора);
 mu – интенсивность потока ухода нагрузки m (на одном выходе коммутатора);
 $M1, M2$ – число входов (выходов) коммутаторов 1 и 2;
 $q1, q2$ – число блоков в первом звене коммутаторов 1 и 2;
 $k1, k2$ – число блоков во втором звене коммутаторов 1 и 2;
 L_start – начальное значение I ;
 L_stop – конечное значение I ;
 L_step – шаг изменения I ;
 $P1, P2$ – вероятности потерь по формулам Ли и Якобеуса для коммутаторов 1 и 2;
 $G1, G2$ – производительности коммутаторов 1 и 2;
 $E1, E2$ – среднее число соединений в коммутаторах 1 и 2.

Текст программы

$Function(L_start, L_stop, L_step, M1, q1, mu, k1, M2, q2, k2) = \left| n \leftarrow trunc\left(\frac{M1}{q1}\right) \right.$

```
 $i \leftarrow 0$   
 $X \leftarrow L\_start$   
 $while (X \leq L\_stop)$   
|  
|  $a = \frac{X}{X + mu}$   
|  $p \leftarrow a \cdot \frac{n}{k1}$   
|  $P1_i \leftarrow [1 - (1 - p)^2]^{k1}$   
|  $G1_i \leftarrow X \cdot M1 \cdot (1 - P1_i)$   
|  $E1_i \leftarrow \frac{X \cdot M1}{mu} \cdot (1 - P1_i)$   
|  $XX_i \leftarrow X$   
|  $X \leftarrow X + L\_step$   
|  $i \leftarrow i + 1$ 
```

```

n ← trunc( $\frac{M_2}{q_2}$ )
X1 ←  $\frac{(n!)^2}{k_2!(2 \cdot n - k_2)!}$ 
i ← 0
X ← L_start
while (X ≤ L_stop)
    a =  $\frac{X}{X + mu}$ 
    X2 ←  $(2 - a)^{2 \cdot n - k_2} \cdot a^{k_2}$ 
    P2i ← X1 · X2
    G2i ← X · M2 · (1 - P2i)
    E2i ←  $\frac{X \cdot M_2}{mu} \cdot (1 - P2_i)$ 
    X ← X + L_step
    i ← i + 1
R1 ← P1
R2 ← XX
R3 ← P2
R5 ← G1
R6 ← G2
R8 ← E1
R9 ← E2
return R

```

Приложение 2

Листинг программы исследования зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от интенсивности ухода нагрузки

Описание переменных:

L – интенсивность потока поступления нагрузки I (на одном входе коммутатора);
 μ – интенсивность потока ухода нагрузки m (на одном выходе коммутатора);
 $M1, M2$ – число входов (выходов) коммутаторов 1 и 2;
 $q1, q2$ – число блоков в первом звене коммутаторов 1 и 2;
 $k1, k2$ – число блоков во втором звене коммутаторов 1 и 2;
 μ_start – начальное значение μ ;
 μ_stop – конечное значение μ ;
 μ_step – шаг изменения μ ;
 $P1, P2$ – вероятности потерь по формулам Ли и Якобеуса для коммутаторов 1 и 2;
 $G1, G2$ – производительности коммутаторов 1 и 2;
 $E1, E2$ – среднее число соединений в коммутаторах 1 и 2.

Текст программы

```
Function( $\mu\_start, \mu\_stop, \mu\_step, M1, q1, L, k1, M2, q2, k2$ ) =  $\left\lfloor n \leftarrow trunc\left(\frac{M1}{q1}\right) \right.$   
 $i \leftarrow 0$   
 $X \leftarrow \mu\_start$   
while ( $X \leq \mu\_stop$ )  
|  
|  $a = \frac{L}{X + L}$   
|  $p \leftarrow a \cdot \frac{n}{k1}$   
|  $P1_i \leftarrow [1 - (1 - p)^2]^{k1}$   
|  $G1_i \leftarrow L \cdot M1 \cdot (1 - P1_i)$   
|  $E1_i \leftarrow \frac{L \cdot M1}{X} \cdot (1 - P1_i)$   
|  $XX_i \leftarrow X$   
|  $X \leftarrow X + \mu\_step$   
|  $i \leftarrow i + 1$ 
```

```

n ← trunc( $\frac{M_2}{q_2}$ )
X1 ←  $\frac{(n!)^2}{k_2!(2 \cdot n - k_2)!}$ 
i ← 0
X ← mu_start
while (X ≤ mu_stop)
    a =  $\frac{L}{L + X}$ 
    X2 ←  $(2 - a)^{2 \cdot n - k_2} \cdot a^{k_2}$ 
    P2i ← X1 · X2
    G2i ← L · M2 · (1 - P2i)
    E2i ←  $\frac{L \cdot M_2}{X} \cdot (1 - P2_i)$ 
    X ← X + mu_step
    i ← i + 1
R1 ← P1
R2 ← XX
R3 ← P2
R5 ← G1
R6 ← G2
R8 ← E1
R9 ← E2
return R

```

Листинг программы исследования зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от значения удельной нагрузки

Описание переменных:

L – интенсивность потока поступления нагрузки I (на одном входе коммутатора);
 m_i – интенсивность потока ухода нагрузки m (на одном выходе коммутатора);
 r – удельная интенсивность потока нагрузки $r=I/m$;
 M_1, M_2 – число входов (выходов) коммутаторов 1 и 2;
 q_1, q_2 – число блоков в первом звене коммутаторов 1 и 2;
 k_1, k_2 – число блоков во втором звене коммутаторов 1 и 2;
 r_start – начальное значение r ;
 r_stop – конечное значение r ;
 r_step – шаг изменения r ;
 P_1, P_2 – вероятности потерь по формулам Ли и Якобеуса для коммутаторов 1 и 2;
 G_1, G_2 – производительности коммутаторов 1 и 2;
 E_1, E_2 – среднее число соединений в коммутаторах 1 и 2.

Текст программы

```
Function(r_start, r_stop, r_step, M1, q1, k1, M2, q2, k2, L) = | n ← trunc( (M1 / q1)
| i ← 0
| X ← r_start
| while (X ≤ r_stop)
|
|   p ← (X / (1 + X)) * (n / k1)
|   P1_i ← [1 - (1 - p)^2]^{k1}
|   G1_i ← L * M1 * (1 - P1_i)
|   E1_i ← X * M1 * (1 - P1_i)
|   XX_i ← X
|   X ← X + r_step
|   i ← i + 1
```

```

n ← trunc( $\frac{M^2}{q^2}$ )
X1 ←  $\frac{(n!)^2}{k^2!(2 \cdot n - k^2)!}$ 
i ← 0
X ← r_start
while (X ≤ r_stop)
    X2 ←  $\left(2 - \frac{X}{1+X}\right)^{2 \cdot n - k^2} \cdot \left(\frac{X}{1+X}\right)^{k^2}$ 
    P2i ← X1 · X2
    G2i ← L · M2 · (1 - P2i)
    E2i ← X · M2 · (1 - P2i)
    X ← X + r_step
    i ← i + 1
R1 ← P1
R2 ← XX
R3 ← P2
R5 ← G1
R6 ← G2
R8 ← E1
R9 ← E2
return R

```

Приложение 4

Листинг программы исследования зависимостей вероятности потерь вызовов, производительности и среднего числа соединений в коммутаторе от числа блоков во втором звене коммутатора

Описание переменных:

L – интенсивность потока поступления нагрузки I (на одном входе коммутатора);
 mu – интенсивность потока ухода нагрузки m (на одном выходе коммутатора);
 r – удельная интенсивность потока нагрузки $r=I/m$;
 $M1, M2$ – число входов (выходов) коммутаторов 1 и 2;
 $q1, q2$ – число блоков в первом звене коммутаторов 1 и 2; $m1=M1/q1$;
 $m2=M2/q2$;
 k – число блоков во втором звене коммутаторов 1 и 2;
 k_start – начальное значение k ;
 k_stop – конечное значение k ;
 k_step – шаг изменения k ;
 $r1, r2$ – значения удельной нагрузки $r=I/m$ для коммутаторов 1 и 2;
 $P1, P2$ – вероятности потерь по формулам Ли и Якобеуса для коммутаторов 1 и 2;
 $G1, G2$ – производительности коммутаторов 1 и 2;
 $E1, E2$ – среднее число соединений в коммутаторах 1 и 2.
 $L1, L2$ – интенсивности потоков поступления нагрузки I для коммутаторов 1 и 2.

Текст программы

$Function(L_start, L_stop, L_step, M1, q1, mu, k1, M2, q2, k2) = | i \leftarrow 0$

```
X ← k_start
while (X ≤ k_stop)
    p ←  $\frac{r1}{1+r1} \cdot \frac{m1}{X}$ 
    P1i ←  $[1 - (1-p)^2]^X$ 
    G1i ← L1 · m1 · (1 - P1i)
    E1i ← r1 · M1 · (1 - P1i)
    XXi ← X
    X ← X + k_step
    i ← i + 1
```

```

i ← 0
X ← k_start
while (X ≤ k_stop)
    
$$X1 \leftarrow \frac{(m2!)^2}{X!(2 \cdot m2 - X)!}$$

    
$$X2 \leftarrow \left(2 - \frac{r2}{1+r2}\right)^{2 \cdot m2 - X} \cdot \left(\frac{r2}{1+r2}\right)^X$$

    P2i ← X1 · X2
    G2i ← L2 · m2 · (1 - P2i)
    E2i ← r2 · m2 · (1 - P2i)
    X ← X + k_step
    i ← i + 1

R1 ← P1
R2 ← XX
R3 ← P2
R5 ← G1
R6 ← G2
R8 ← E1
R9 ← E2
return R

```


Аксенов Вячеслав Анатольевич
Цветков Виктор Юрьевич
Чаклова Мельпомени Ильинична

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК
МНОГОЗВЕННЫХ КОММУТАЦИОННЫХ БЛОКОВ**

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к лабораторной работе
по курсу
«Основы теории телетрафика, сетей и систем телекоммуникаций»
для студентов специальностей
«Сети телекоммуникаций»,
«Системы распределения мультимедийной информации»
всех форм обучения

Редактор Т. П. Андрейченко

Подписано в печать 25.08.2007.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,3.

Формат 60x84 1/16
Печать ризографическая.
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,09.
Заказ 324.

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