

**Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Томский государственный Университет Систем Управления и
Радиоэлектроники
(ТУСУР)**

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР)

В.М.Винокуров

Руководство к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов по
курсу
**Основы построения коммутационных полей систем коммутации
(ОПКПСК)**

Учебно-- методическое пособие

Рецензент

Богомолов С.И., канд. техн. наук, доцент

Винокуров В.М.

Руководство к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов по курсу «Основы построения коммутационных полей систем коммутации (ОПКПСК)»: Учебно-- методическое пособие / В.М. Винокуров; Томск. гос. ун–т систем упр. и радиоэлектроники. — Томск : Томск. гос. ун–т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. — 37 с.

Иллюстраций – 15, таблиц – 8.

Изучаются принципы расчёта различных параметров многозвенных коммутационных полей систем цифровой коммутации, поиск свободного пути в коммутационном поле многоступенчатого коммутатора, расчет вероятностного графа коммутационной схемы методом Ли и Якобеуса, расчет сложности реализации коммутационных схем типа ПВП, ВПВ, и ВППВ. Самостоятельная работа включает знакомство студентов с теоретическим содержанием текущего практического занятия и решение индивидуальных задач после его проведения.

Для студентов ВУЗов специальности 210700.68 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Винокуров В.М., 2012

Томск. гос. ун–т систем управления
и радиоэлектроники, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Введение.....	4
2.	Программа курса «Основы построения коммутационных полей систем коммутации (ОПКПСК)».....	4
3.	Содержание дисциплины.....	5
4.	Содержание практикума.....	6
4.1	Практические занятия № 1. Тема 1. Многозвенная коммутация.....	8
4.2	Практические занятия № 2. Тема 2.: Расчет вероятностного графа коммутационной схемы методом Ли	11
4.3	Практическое занятие № 3.Тема 3.: Расчет вероятностного графа коммутационной схемы методом Якобеуса.....	17
4.4	Практическое занятие № 4. Тема4. Расчет сложности реализации коммутационной схемы типа ПВП.....	21
4.5	Практическое занятие № 5.Тема 5. Расчет сложности реализации коммутационной схемы типа ВПВ.....	25
4.6	Практическое занятие № 6. Тема 6. Расчет сложности реализации коммутационной схемы типа ВППВ.....	31
4.7	Практическое занятие № 7. Тема № 7. Поиск свободного пути в коммутационном поле многоступенчатого коммутатора.....	35
	Литература.....	37

1. Введение

Цикл практических занятий длительностью 16 часов предусмотрен в семестре А. В соответствии с приведённой ниже программой курса изучаются восемь тем.

Решение каждой задачи предваряется пояснениями теоретического базиса, постулатов и формул, положенных в основу данного варианта решения. Практикум завершается контрольной работой с последующим обсуждением её результатов.

2. ПРОГРАММА КУРСА «Основы построения коммутационных полей систем коммутации (ОПКПСК)»

Цели и задачи дисциплины:

- Дисциплина ОПКПСК является важной дисциплиной в общепрофессиональной подготовке дипломированного магистранта по направлению 210700.68 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», позволяющей оптимизировать структуру и сервис сетей связи на основе использования соответствующим образом спроектированных коммутационных систем.
- В процессе изучения дисциплины студенты получают подготовку, необходимую для проектирования и эксплуатации современных телекоммуникационных сетей и систем.

Задачами изучения дисциплины «Основы построения коммутационных полей систем коммутации», является формирование у студентов общекультурных и профессиональных компетенций соответствующих ООП.

Место дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина входит в состав базовой части общенаучного цикла.

Теоретические дисциплины и практики, освоение которых необходимо как предшествующее для данной дисциплины, составляют следующий перечень:

- Методы моделирования и оптимизации телекоммуникационных систем и сетей;
- Физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе инфокоммуникационных систем и сетей;
- Анализ пропускной способности телекоммуникационных сетей и систем.

Минимальные требования к «входным» знаниям, необходимым для успешного усвоения данной дисциплины - удовлетворительное усвоение программ по указанным выше разделам.

Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

- Имитационное моделирование инфокоммуникационных систем и сетей;
- Теория построения инфокоммуникационных систем и сетей.

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Содержание лекционного курса

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость (час.)
9 семестр дисциплины		8
Раздел 1 Тема Введение.	Предмет задачи курса. Основные принципы построения телекоммуникационных сетей. Коммуникационные и информационные сети. Инфокоммуникационные сети и системы. Принципы построения первичной и вторичных коммутируемых сетей связи. Транспортные сети и сети доступа. Взаимоувязанная сеть страны (ВСС). Системы распределения информации. Коммутация и селекция. Коммутация каналов, сообщений и пакетов. Сети с маршрутизацией. Сети с селекцией данных. Сети управления электросвязью. Топология ИС. Принципы функционирования систем сигнализации, нумерации, синхронизации.	0,5
Раздел 2 Тема Стандартизация сетей электросвязи.	Стандартизация в телеинформатике. Структура служб стандартизации. Сектор стандартизации связи ИТУ–Т. МСС (Международная организация по стандартизации, ISO). Эволюция стандартов. Открытые информационные системы. Эталонная модель взаимодействия открытых систем (ЭМОС). Функциональные среды. Функции, выполняемые уровнями ЭМОС. Стандарты ЭМОС. Словарь терминов. Примеры использования сетевых протоколов. Протоколы Internet. Соответствие популярных стеков протоколов модели OSI. Особенности стандартизации протоколов локальных сетей. Сетевые структуры глобальных сетей.	1
Раздел 3 Принципы коммутации в сетях связи.		
Тема 1 Обзор методов коммутации	Основные понятия и определения (коммутация временных каналов, коммутация пакетов, быстрая коммутация пакетов, ретрансляция кадров, ретрансляция ячеек). Цифровые кроссовые коммутаторы. Узел интегральной коммутации (баньяновая сеть, матричный коммутатор). Ретрансляционная система. Базовая сеть. Оптический коммутатор.	1

	<p>Тема 2 Коммутация в ТФОП.</p>	<p>Классификация российской телекоммуникационной сети общего пользования (ТФОП). Ступени искания. Коммутационные приборы и их условные обозначения. Структуры коммутационного поля. Принципы построения коммутационных полей аналоговых и цифровых систем коммутации. Коммутационное поле АТСК. Коммутационное поле АТСКЭ. Принципы построения управляющих устройств аналоговых и цифровых систем коммутации. Коммутационное поле АТСЭ: общие положения, сравнение блоков ПК и ВК, коммутационные схемы В-П-В и П-В-П. Коммутационный модуль станции АХЕ-10. Общие сведения о цифровой АМТС типа АХЕ-10. Перспективы развития коммутационных систем. Стратегия перехода от аналоговых телефонных сетей к цифровым.</p>	<p>2</p>
	<p>Тема 3 Оптическая коммутация</p>	<p>Оптическая коммутация и коммутаторы. Типы базовых оптических кросс-коммутаторов: механические, электрооптические, термооптические оптические коммутаторы, оптоэлектронные коммутаторы на основе ППОУ. Интегральные активно-волноводные коммутаторы. Коммутаторы на фотонных кристаллах. Коммутаторы на многослойных световодных жидкокристаллических матрицах. Коммутаторы на матрицах оптоэлектронных вентилях, коммутируемых лазерным лучом. Логика и топология многокаскадных оптических коммутаторов. Логика коммутации базовых элементов размера 2x2. Древовидные сети типа Баньян. Особенности построения многокаскадных оптических коммутаторов. Схема матричного кросс-коммутатора (crossbar). Схемы КСС Бенеша, Шпанке, Шпанке-Бенеша.</p>	<p>0,6</p>
	<p>Тема 4 Коммутация в различных сетевых технологиях</p>	<p>Коммутация в компьютерных сетях. IP-телефония. Сети с коммутацией меток (MPLS). Коммутация принципы построения цифровых систем коммутации при интеграции различных видов сообщений. Коммутация в сети следующего поколения NGN. Коммутация в АТМ. Коммутация в беспроводных сетях. Коммутация в интеллектуальных сетях.</p>	<p>1</p>
<p>Раздел 4 Тема 5 Принципы сигнализации в ТФОП.</p>		<p>Классификация систем сигнализации. Классификация видов сигналов. Примеры сигналов. Способы передачи линейных сигналов. Способы передачи сигналов управления. Передача информационных сигналов. Международные системы сигнализации. Система сигнализации R2. Специфика российских систем сигнализации. Некоторые интерфейсы систем сигнализации. Некоторые протоколы систем линейной сигнализации. Сигнализация «импульсный челнок». Общий канал сигнализации (ОКС). Структура сигнальных единиц в блоке МТР. Подсистема ISUP. Режимы работы сети</p>	<p>1</p>

	сигнализации ОКС №7.	
Раздел 5 Тема 6 Синхронизация цифровых сетей.	Общие положения. Современная концепция построения систем синхронизации. Структура системы межузловой синхронизации. Основные рекомендации по системе синхронизации цифровых телефонных сетей. Проектирование системы межузловой синхронизации. Структура системы внутриузловой синхронизации СВС. Подсистема QoS. Подсистема управления TMN и система синхронизации. Сигнализации в Ш-ЦСИО на технологии ATM. Сигнализация в ISDN (системы DSS1, ОКС7 (SS7).	0,6
Раздел 6 Тема 7 Заключение	Итоги изучения учебной дисциплины. Перспективы развития коммутационных систем.	0,3

Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)
1.	1; 3.2	Практические занятия № 1 Тема «Многозвенная коммутация»	2
2.	1; 3.2	Практические занятия № 2 Тема «Расчет вероятностного графа коммутационной схемы методом Ли».	2
3.	1; 3.2	Практическое занятие № 3 Тема «Расчет вероятностного графа коммутационной схемы методом Якобеуса».	2
4.	1; 3.1	Практическое занятие № 4 Тема «Расчет сложности реализации коммутационной схемы типа ПВП».	2
5.	1; 3.1	Практическое занятие № 5 Тема «Расчет сложности реализации коммутационной схемы типа ВПВ».	2
6.	1; 3.2; 4	Практическое занятие № 6 Тема «Расчет сложности реализации коммутационной схемы типа ВППВ».	2
7.	1; 3.4; 4; 5	Практическое занятие № 7 Тема «Поиск свободного пути в коммутационном поле многоступенчатого коммутатора».	2
8.	1 - 6	Тест. Контрольная работа.	2
Итого:			16

4. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИКУМА

4.1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1.

Тема 1. Многозвенная коммутация

Однозвенные схемы коммутаторов наряду с достоинствами имеют и недостатки. Прежде всего, с ростом числа коммутируемых линий быстро увеличивается количество точек коммутации, хотя их использование остается довольно небольшим. При наличии N входов и N выходов общее число точек коммутации составит $N(N-1)$, тогда как максимальное число точек, одновременно используемых в соединениях при 100%-ной занятости коммутатора, составит всего N . Кроме того, конструкция коммутатора не очень хороша с точки зрения надежности: выход из строя какой-нибудь одной точки коммутации означает, что одна из конкретных пар "вход-выход" лишается возможности связи.

Привлекательным свойством однозвенных коммутаторов является то, что они полностью неблокируемы. Если вызываемая сторона свободна, требуемое соединение всегда может быть установлено путем выбора требуемой точки коммутации, предназначенной именно для этой конкретной пары вход-выход. Когда точки коммутации становятся общими, естественно, появляется вероятность блокировки.

На рис. 1.1 показана структурная схема трёхзвенного коммутатора.

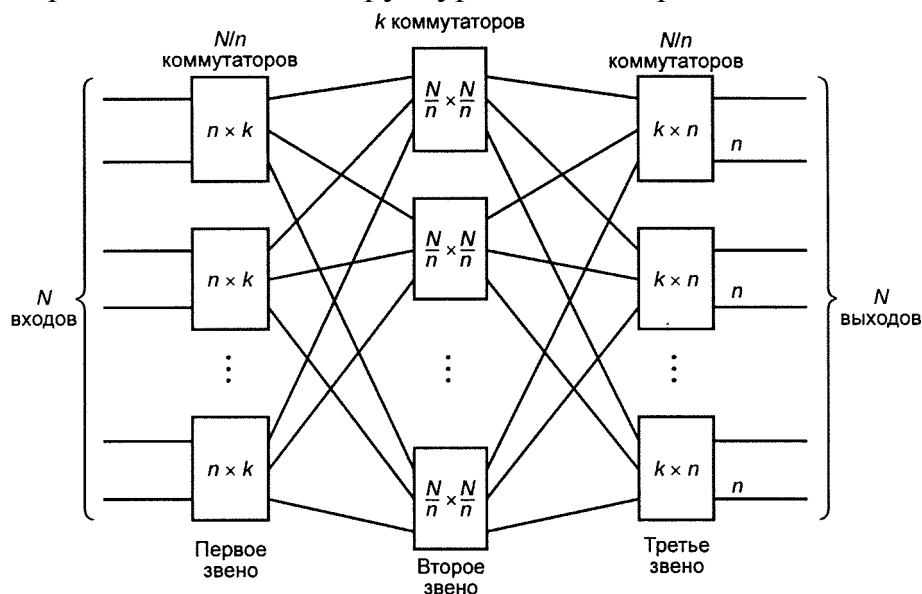


Рис. 1.1. Трёхзвенная коммутационная матрица

Коммутатор размером $N \times N$ на рис. 1.1 имеет три звена коммутации с разделёнными входами и выходами. Коммутаторы первого звена имеют размер $n \times k$, где каждый из k выходов соединен с одним из k коммутаторов второго звена. Третье звено состоит из прямоугольных коммутаторов размером $k \times n$, которые обеспечивают соединения от каждого коммутатора центрального звена к группам из n выходов. Все коммутаторы центрального звена являются коммутаторами размером $(N/n) \times (N/n)$ и обеспечивают

соединения любого коммутатора первого звена с любым коммутатором третьего звена. Число промежуточных линий, соединяющих каждый выход предыдущей ступени со входом последующей, называют *связностью* блока. Следует иметь в виду, что если все коммутаторы полностью доступны, то для каждого соединения между конкретным входом и конкретным выходом внутри коммутационного поля существует k возможных путей. В каждом из этих путей будет использован свой коммутатор центрального звена. Таким образом, многозвенная структура обеспечивает наличие в коммутационном поле альтернативных путей, что позволяет избегать блокировок. Более того, поскольку каждая коммутируемая линия соединена с ограниченным числом точек коммутации, емкостная нагрузка минимальна.

Общее число точек коммутации N_x , необходимое для построения трехзвенного коммутатора, показанного на рис. 1.1, может быть вычислено по формуле:

$$N_x = 2Nk + k(N/n)^2 \quad (1.1)$$

где N — число пар входов-выходов; n — размер каждой группы входов-выходов; k — число центральных коммутаторов.

Анализ необходимого числа коммутаторов в центральном звене трёхзвенной коммутационной схемы, которое обеспечивает строгую неблокируемость коммутатора, провёл в 1953 г. Чарльз Клоз, сотрудник фирмы Bell Laboratories. Применительно к обозначениям рис. 1.1 результаты его исследований записываются в виде: $k \geq 2n - 1$. Подстановка полученного выражения в (1.1) приводит к результату:

$$N_x = 2N(2n - 1) + (2n - 1)(N/n)^2 \quad (1.2)$$

Дифференцирование выражения (1.2) по n и приравнивание полученного выражения нулю показывает, что (при больших N) оптимальным значением n является $(N/2)^{1/2}$. Подстановка этого значения n в (1.2), даёт выражение для минимального числа точек коммутации неблокируемого трехступенчатого коммутатора:

$$N_{x \min} = 4N((2n)^{0.5} - 1) \dots \dots \dots (1.3)$$

где N — общее число входов-выходов.

В табл. 1.1 приведены значения $N_{x \min}$ для неблокируемых трехзвенных коммутаторов различных размеров в сравнении с числом точек коммутации одноступенчатых квадратных коммутационных матриц. Оба типа коммутационных структур обеспечивают четырехпроводное соединение, требуемое для цифровой коммутации, так как передача оцифрованной речи предполагает четырехпроводные линии связи.

Как показано в табл. 1.1, трехзвенные коммутационные матрицы обеспечивают значительную экономию числа точек коммутации, особенно для коммутаторов большой емкости. Однако число точек коммутации для трехзвенных коммутаторов большой емкости остается по-прежнему чрезмерным. Поэтому обычно большие коммутаторы используют более трех звеньев для еще большего сокращения числа точек коммутации. Например, в №

1ESS используется восьмизвенная коммутационная матрица, способная обслуживать до 65000 линий. Наиболее значительное уменьшение числа точек коммутации достигается не столько за счет дополнительных звеньев, сколько за счет их работы с приемлемой вероятностью блокировок.

Таблица 1.1

Число линий	Число точек коммутации для трехзвенного коммутатора	Число точек коммутации для однозвенного коммутатора
128	7680	16 256
512	63 488	261 632
2 048	516 096	4,2 млн
8 192	4,2 млн	67 млн
32 768	33 млн	1 млрд
131072	268 млн	17 млрд

Задача №1.1

Доказать теорему Клоза. Получить формулу (1.1).

Задача №1.2

Получить формулу (1.2).

Задача №1.3

Получить формулу (1.3).

Задача №1.4

Используя формулу (1.3), вычислить числа точек коммутации для трехзвенных коммутаторов, оптимизированных по Клозу, указанных в таблице 1.1 и сравнить их с числами точек коммутации соответствующих однозвенных коммутаторов

4.2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2.

Тема 2. Расчет вероятностного графа коммутационной схемы методом Ли

Оборудование ТфОП спроектировано так, чтобы не превышать определенную вероятность блокировки в час наибольшей нагрузки (ЧНН). Вероятность такой блокировки является одним из показателей качества обслуживания, предоставляемого абонентам телефонной компанией.

Следует помнить, что схемы с малой, но конечной вероятностью блокировки значительно более экономичны, чем неблокируемые.

Пучки каналов высокого качества (ПВК) организуются с вероятностью блокировки не более 1%, а пучки каналов высокого использования (ПВИ) с вероятностью блокировки порядка (15–20)%.

На индивидуальный телефонный аппарат нагрузка составляет обычно (5–10)% от ЧНН. В среднем телефонный аппарат дает один-два вызова в ЧНН.

Среди множества методов расчета вероятности блокировок коммутационных матриц, отличающихся сложностью, точностью и возможностью применения к различным сетевым структурам, одним из наиболее универсальных и простых является метод Ли [1]. Метод основан на использовании вероятностных графов. Достоинства этого метода состоят в том, что формулы непосредственно связаны с исследуемой сетевой структурой. Таким образом, процесс формулировки помогает пониманию сетевых структур и того, как они могли бы быть модифицированы с целью изменения их характеристик.

Для построения вероятностного графа коммутационной структуры обозначим вероятность того, что некоторая линия занята, величиной p . Другие названия этой величины: коэффициент использования, коэффициент загрузки, занятость линии. Предполагается, что каждая линия занята или свободна независимо от остальных. Вероятность того, что линия свободна, обозначим через $q=1-p$.

Если для установления соединения может быть использована любая из n параллельных линий, то суммарная вероятность блокировки B , или вероятность того, что все линии заняты,

$$B = p^n. \quad (2.1)$$

Если для установления соединения необходимо n последовательно соединенных линий, то вероятность блокировки определяется как единица минус вероятность того, что все они свободны, т.е.

$$B = 1 - q^n. \quad (2.2)$$

Вероятностный граф трехзвенной коммутационной сети представлен на рис. 2.1. Этот граф показывает, что каждое соединение может быть установлено k различными путями: каждый путь проходит через свой коммутатор центрального звена. Вероятность того, что любая промежуточная линия занята, обозначим через p' . Вероятность блокировки трехступенчатой сети может быть определена как

$$B = \text{вероятность того, что все пути заняты} =$$

$$\begin{aligned}
&= (\text{вероятность того, что произвольный путь занят})^k = \\
&= (\text{вероятность того, что по крайней мере одна линия в пути занята})^k = \\
&= (1-(q')^2)^k, \tag{2.3}
\end{aligned}$$

где

k — число коммутаторов центрального звена;

q' — вероятность того, что промежуточная линия свободна;

$q' = 1-p', p'=p(n/k)$.

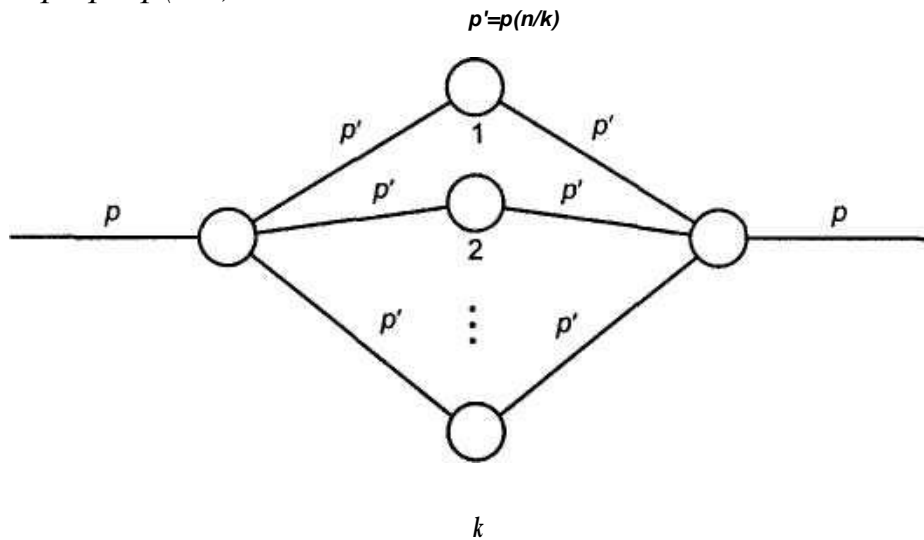


Рис. 2.1. Вероятностный граф для трехзвенного коммутатора

Полагая число входов первого звена коммутатора рис.2.1, равным n , а число его выходов k , вероятность p' того, что промежуточная линия занята, можно определить как

$$p' = p/\beta = p(n/k), \tag{2.4}$$

где $\beta = k/n$.

Первое звено коммутатора обеспечивает либо пространственное расширение (при $\beta > 1$), либо концентрацию ($\beta < 1$). Концентрация нагрузки в первом звене используется в коммутаторах конечных АТС или УАТС с малой нагрузкой на входящие линии (5-10 %). Однако в транзитных или междугородных АТС входящие линии сильно загружены и обычно нуждаются в расширениях, чтобы обеспечить приемлемую вероятность блокировки.

Подставив (2.4) в (2.3), получаем окончательное выражение для расчета вероятности блокировки трехзвенного коммутатора через коэффициент загрузки входов p :

$$B = [1-(1-p/\beta)^2]^k. \tag{2.5}$$

В табл. 2.2 приведено число точек коммутации, рассчитанных по формуле ($N_x = 2Nk + k(N/n)^2$), для коммутаторов той же емкости, которые представлены в табл. 1.1. Число коммутаторов центрального звена в каждом случае было выбрано так, чтобы обеспечить вероятность блокировки порядка 0,002. Коэффициент загрузки входов в каждом примере был принят равным 10 %.

Коммутаторы, представленные в табл. 2.2, рассчитаны исходя из 10%-ной нагрузки входных линий, что справедливо для конечных станций и УАТС. Наибольшая экономия в числе точек коммутации для коммутаторов большой емкости достигается за счет введения большего коэффициента концентрации ($1/\beta$) в центральном звене. При большой нагрузке на входные линии (что характерно для транзитных коммутаторов) использование большого коэффициента концентрации неприемлемо и, следовательно, необходимо увеличить число точек коммутации. В табл. 2.3 приведены требуемое число точек коммутации и рабочие характеристики для случая загрузки входов на 70 %.

Таблица 2.2.

Параметры трехзвенных коммутаторов с вероятностью блокировки 0,002 и занятостью входящих линий 0,1

Емкость коммутатора, N	n	k	β	Число точек коммутации	Число точек коммутации в неблокируемом коммутаторе
128	8	5	0,625	2560	7680 (k= 15)
512	16	7	0,438	14 336	63 488 (k = 31)
2048	32	10	0,313	81920	516 096 (k= 63)
8192	64	15	0,234	491 520	4,2 млн (k= 127)
32 768	128	24	0,188	3,1 млн	33 млн (k= 255)
131072	256	41	0,160	21,5 млн	268 млн (k= 511)

Таблица 2.3.

Параметры трехзвенных коммутаторов с вероятностью блокировки 0,002 и занятостью входящих линий 0,7

Емкость коммутатора, N	n	h	β	Число точек коммутации	Число точек коммутации в неблокируемом коммутаторе
128	8	14	1,75	7168	7680 (k = 15)
512	16	22	1,38	45 056	63 488 (k = 31)
2048	32	37	1,16	303 104	516 096 (k = 63)
8192	64	64	1,0	2,1 млн	4,2 млн (k = 127)
32 768	128	116	0,91	15,2 млн	33 млн (k = 255)
131072	256	215	0,84	113 млн	268 млн (k = 511)

ЗАДАЧА № 2.1

Сколько точек коммутации требуется для построения трехзвенного пространственного коммутатора емкостью 1024 линий, если нагрузка на каждый вход составляет 6 CCS, а максимально допустимое значение

вероятности блокировки (при использовании для анализа вероятностного графа Ли) равна 0,005? а) если $n = 16$, $Nln = 64$; б) если $n = 32$, $Nln = 32$; в) если $n = 64$, $Nln = 16$.

ЗАДАЧА № 2.2

Рассчитать число точек коммутации коммутационных полей с параметрами, указанными строками табл. 2.2.

ЗАДАЧА № 2.3

Рассчитать число точек коммутации коммутационных полей с параметрами, указанными строками табл. 2.3.

Расчет вероятностного графа пятизвенной коммутационной схемы методом Ли.

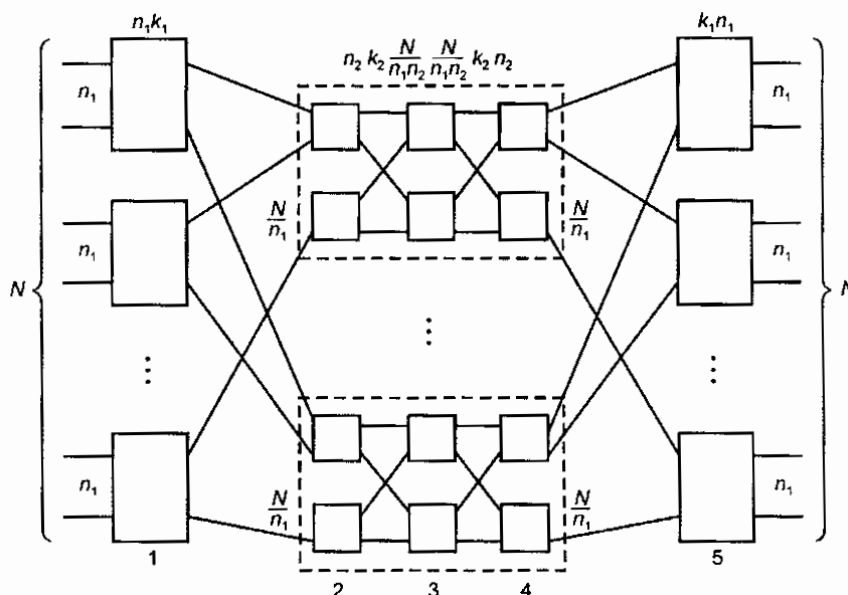


Рис.2.2. Пятизвенная коммутационная схема

Результаты, приведенные в табл. 2.2 и 2.3, показывают, что коммутаторы большой емкости нуждаются в большом числе точек коммутации, даже если допускается блокировка и зачастую используют более трех звеньев для сокращения числа точек коммутации. На рис. 2.2 показана структурная схема пятизвенного коммутатора, полученного замещением каждого коммутатора центрального звена (см. рис. 1.1) трехзвенным коммутатором. Если три средние звена пятизвенного коммутатора, изображенного на рис.2.2, строго неблокируемы ($k_2=2n_2-1$), то данная структура позволяет сэкономить 8704 точки коммутации в каждом коммутаторе центрального звена трехзвенного коммутатора емкостью 32768 линий, представленного ранее. Следовательно, при построении структуры транзитного коммутатора емкостью 32768 линий, параметры которого даны в табл. 2.3, можно сэкономить более 1 млн точек коммутации. Поскольку средние звенья не вносят блокировок, работа

данного пятизвенного коммутатора аналогична работе трехзвенной структуры. На практике более эффективный по стоимости вариант коммутатора может быть получен, если допустить некоторое число блокировок в средних звеньях. Вероятностный граф для данного пятизвенного коммутатора показан на рис. 2.3. Из этого графа вероятность блокировки определяется следующим образом:

$$B = \{1 - (q_1)^2 [1 - (q_2^2)^{k_2}]\}^{k_1}, \quad (2.6)$$

где $q_1 = 1 - p_1$, $q_2 = 1 - p_2$.

Может быть достигнута и еще большая экономия числа точек коммутации, если использовать большее число звеньев для замены изначально более крупных коммутаторов первого и третьего звена. Например, общее число точек коммутации в коммутаторе на 32 000 входов может быть уменьшено до значения менее трех миллионов. Коммутатор на 130 000 линий является трудно реализуемым при использовании электромеханических коммутационных матриц, но пригоден для цифровых коммутаторов с ВРК.

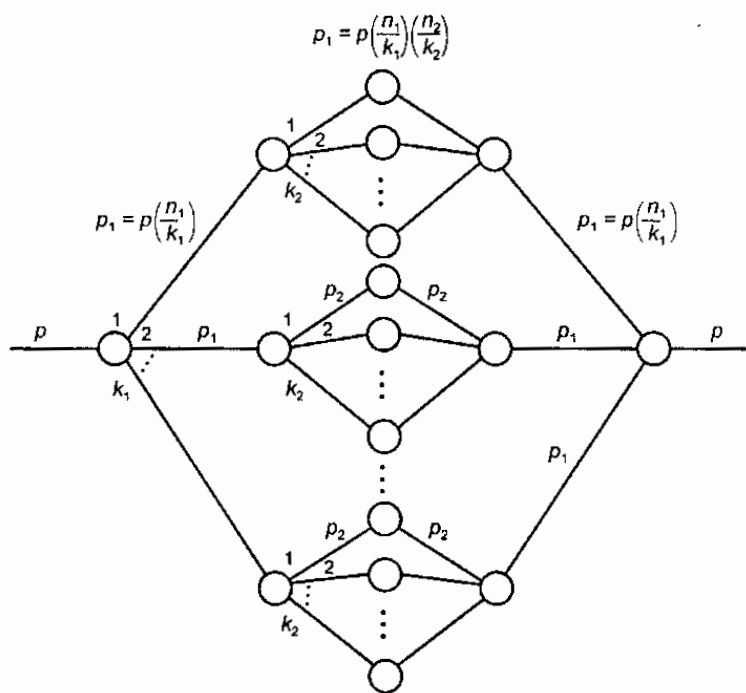


Рис. 2.3. Вероятностный граф для пятизвенной схемы

ЗАДАЧА № 2.4.

Какова вероятность блокировки (вычисленная на основе графа Ли) коммутатора ВП, если нагрузка на канал составляет 0,2 Эрл?

- а) Принять, что каждый вход с ВРК представляет собой 24-канальную группу межстанционных соединительных линий.

б) Принять, что входы с ВРК обслуживают каналобразующую аппаратуру с 24 каналами и с аналоговым сопряжением подключенной линии, нагрузка которой равна 0,2 Эрл.

ЗАДАЧА №2.5

Какова вероятность блокировки коммутатора задачи № 2, если нагрузка на канал составляет 0,9 Эрл?

4.3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3.

Тема 3: Расчет вероятностного графа коммутационной схемы методом Якобеуса

При выводе формулы вероятности блокировки на основе вероятностного графа, предполагалось, что отдельные вероятности независимы, что позволило представить совокупную вероятность блокировки обходных путей в виде произведения вероятностей блокировки каждого пути. На самом деле эти вероятности не являются независимыми, особенно в тех случаях, когда в схеме используется значительное расширение, поскольку чем больше путей в коммутаторе будет занято, тем с меньшей вероятностью будут использоваться оставшиеся пути (только промежуточных линий может быть занята одновременно).

Так, применяя выражение (2.5) к строго неблокируемому по Клозу коммутатору ($k = 2n-1$), получим конечную вероятность блокировки. Неточность результата связана с тем, что, если $2n-2$ пути заняты, то оставшийся путь предполагается занятым с вероятностью $(1-(q')^2)$, хотя на самом деле оставшийся путь обязательно свободен.

В общем случае при наличии пространственного расширения допущение о независимости отдельных вероятностей приводит к неоправданно высокой вероятности блокировки

Более строгий, но не точный анализ многозвенных коммутаторов был выполнен в 1950 г. К. Якобеусом. Для трехзвенного коммутатора [1] формула Якобеуса имеет вид:

$$B = \{(n!)^2 p^k (2-p)^{2n-k}\} / k! (2n-k)! \quad (3.1)$$

где n — число входов (выходов) матрицы первого (третьего) звена; k — число матриц второго звена; p — загрузка входов.

Интересно сравнить эти два метода. По выражениям (2.5) и (3.1) проведем расчет вероятности блокировки для случая трехзвенного коммутатора с различными коэффициентами пространственного расширения. Результаты вычислений для случая, когда загрузка входов равна 0,7, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Сравнение методов расчета вероятности блокировки ($p = 0,7$)

Число центральных звеньев k	Коэффициент расширения β	Формула Ли (2.5)	Формула Якобеуса (3.1)
14	0,875	0,548	0,598
16	1,0	0,221	0,221
20	1,25	0,014	0,007
24	1,50	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
28	1,75	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-9}$
31 (Неблокируемый коммутатор)	1,94	$8,5 \cdot 10^{-8}$	$0,1 \cdot 10^{-12}$

Ёмкость коммутатора $N = 512$; Неблокируемый коммутатор. размер группы входов $n = 16$; загрузка входов $p = 0,7$.

Из табл. 3.1 следует, что результаты, полученные обоими методами, хорошо согласуются при коэффициенте **расширения**, близком к единице. Фактически, если $\beta = 1$, то оба выражения дают идентичные результаты. Метод графов Ли (2.5) дает завышенные оценки вероятности блокировки при $\beta > 1$.

Сравним эти подходы в других случаях. Например, результаты, приведенные в табл. 3.2, получены по выражениям (2.5) и (3.1) для коммутаторов со значительной концентрацией, которая достигается за счет относительно низкой загрузки входов, равной 0,1.

Таблица 3.2. Сравнение методов расчета вероятности блокировки ($p = 0,1$)

Число центральных звеньев k	Коэффициент расширения β	Формула Ли (5.8)	Формула Якобеуса (5.10)
6	0,375	0,0097	0,27
8	0,5	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$
10	0,625	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
12	0,75	$5,7 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
14	0,875	$4 \cdot 10^{-10}$	$7,8 \cdot 10^{-10}$
16	1,0	$2,9 \cdot 10^{-12}$	$2,9 \cdot 10^{-12}$

Ёмкость коммутатора $N = 512$; размер группы входов $n = 16$; загрузка входов $p = 0,1$.

Из табл. 3.2 следует, что метод графов Ли (2.5) постоянно занижает вероятность блокировки, если в схеме имеется **концентрация**. На самом деле метод Якобеуса, представленный выражением (3.1), также занижает вероятность блокировки в случаях, когда используется высокий коэффициент концентрации.

Резюмируя содержание тем практических занятий №№1-3, следует сделать следующие концептуальные замечания:

1. Анализ вероятности блокировки, рассмотренный выше, проводится при двух допущениях: соединения определенного входа с определенным выходом и независимости требований на обслуживание, поступающих по отдельным линиям. Эти допущения обычно справедливы в случае коммутации *одной абонентской линии с другой на оконечной АТС или соединения одной абонентской установки с другой через УАТС*. Но ни одно из этих допущений не справедливо, если рассматривать соединение на входе или выходе пучка соединительных линий.
2. *При соединении с магистральной линией связи* допускается выбор любой линии из пучка соединительных линий. При этом имеет значение не столько вероятность блокировки конкретной линии, сколько то, как эта линия влияет на блокировку пучка соединительных линий в целом. По этой причине отдельные вероятности блокировок оказываются зависимыми, что следует учитывать при проведении строгого анализа вероятности блокировки.
3. При проектировании коммутаторов или анализе вероятности блокировки следует рассмотреть и еще один аспект подключения пучка соединительных линий — *зависимость от активности абонентов отдельных линий в пучке*. В отличие от индивидуальных абонентских линий или УАТС при расчете вероятности того, заняты или свободны отдельные соединительные линии в пучке, нельзя считать их независимыми. Если некоторое число линий в пучке при проверке оказываются занятыми, то вероятность того, что будут заняты остальные линии, возрастает. Характер этих зависимостей более полно обсуждается в теории телетрафика.
4. Последний аспект, который следует отметить в связи с вероятностью блокировок как одной из оценок качества обслуживания, — это влияние колебаний нагрузки на сеть, создаваемую индивидуальными пользователями. В приведенных выше примерах проектирования оконечных станций принималось, что все абоненты занимают линии 10 % времени в течение ЧНН. На самом деле некоторые абоненты активны значительно больше 10 % времени, в то время как другие абоненты — менее 10 %. В терминах теории телетрафика это означает, что одни абоненты создают нагрузку более 0,1 Эрл, в то время как другие — меньшую. Телефонные операторы традиционно решают проблему сверхактивных абонентов, специально распределяя наиболее активные линии (деловых абонентов) по различным входным подгруппам коммутатора. Иногда эта процедура требует измерения нагрузки с тем, чтобы определить, какие линии наиболее активны, и последующего перераспределения этих линий по различным частям коммутатора. Это является обязанностью сотрудников администрации связи. Если подгруппы оказываются достаточно большими или если в проекте предусмотрены ограничения для сверхактивных абонентов, то этот аспект работы администрации связи можно минимизировать. Еще одним из решений этой проблемы является возможность проектирования экономичных коммутаторов

с очень низкой номинальной вероятностью блокировки, которые рассчитаны на изменения интенсивности нагрузки в широких пределах.

ЗАДАЧА №3.1.

Пользуясь графом Ли и методом Якобеуса, определить вероятности блокировки первого коммутатора, приведенного в табл. 3.2 ($k = 6$), если два из 16 входов окажутся соединенными с абонентами, создающими на каждый вход нагрузку 1 Эрл. (Пояснение: два входа будут постоянно заняты, нагрузка остальных входов продолжает оставаться равной 0,1 Эрл.)

ЗАДАЧА №3.2.

Повторить решение задачи 5.3 при условии, что вместо двух занятых входов будут повреждены два выхода из модуля первого звена.

ЗАДАЧИ № 3.3 – 3.7.

Рассчитать вероятности блокировки коммутаторов с параметрами, указанными строками табл. 3.2 ($k = 8, 10, 12, 14, 16$)

4.4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4.

Тема 4: Расчет сложности реализации коммутационной схемы типа ПВП.

Коммутационная матрица ВП.

Полный анализ сложности реализации коммутаторов требует знания относительной стоимости точки коммутации в сравнении со стоимостью бита памяти. Поскольку точка коммутации ассоциируется с внешним соединением, ее стоимость значительно больше стоимости бита памяти. Использование стандартных ИС средней степени интеграции приводит к тому, что одна точка коммутации стоит примерно столько же, сколько 100 бит памяти. Сложность реализации определяется следующим образом:

$$\text{Сложность} = N_x + N_B/100, \quad (4.1)$$

где N_x — число точек коммутации в пространственном звене; N_B — число битов памяти.

Пример 4.1. Определить сложность реализации схемы коммутатора ВП, показанного на рис. 4.1, где число входящих линий с ВРК $N = 80$. Предположить, что каждая входная линия передает один сигнал DS1 (24 канала). Кроме того, предположить, что пространственное звено использует однозвенные матрицы коммутации.

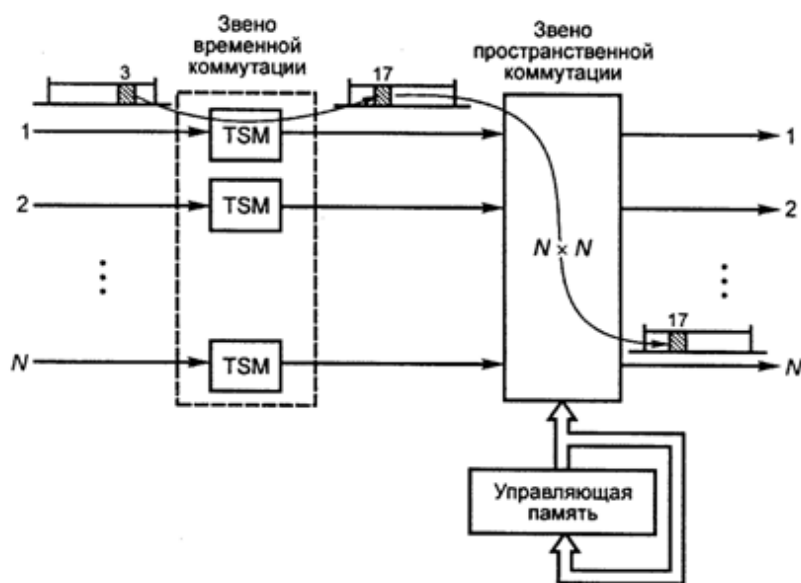


Рис.4.1 Коммутационная матрица ВП:

TSM - модуль временной коммутации

Решение. Число точек коммутации пространственного звена $N_x = 80^2 = 6400$. (Точки коммутации, размещенные на главной диагонали, также берутся в расчет, поскольку возможны соединения между двумя каналами в одной входной линии с ВРК.) Общий объем управляющей памяти, бит, для пространственного звена определяется как

$$N_{ВХ} = (\text{число линий}) \times (\text{число управляющих слов}) \times (\text{число бит на управляющее слово}) = 80 \times 24 \times 7 = 13440.$$

Число бит памяти временного звена определяется как сумма числа битов для обмена канальными интервалами и числа битов управляющей памяти:

$$\begin{aligned}
N_{BT} &= (\text{число линий}) \times (\text{число каналов}) \times (\text{число битов на канал}) + \\
&+ (\text{число линий}) \times (\text{число управляющих слов}) \times \\
&\quad \times (\text{число битов на управляющее слово}) = \\
&= 80 \times 24 \times 7 + 80 \times 24 \times 5 = 24960.
\end{aligned}$$

Таким образом, сложность реализации определяется как

$$\text{Сложность} = N_x + [N_{BX} + N_{BT}] / 100 = 6784 \text{ эквивалентных точек коммутации.}$$

Коммутатор ПВП.

Функциональная схема коммутатора ПВП приведена на рис. 4.2. Предполагается, что каждое пространственное звено является однозвенным неблокирующимся коммутатором. Для очень больших коммутаторов может быть желательна реализация пространственной коммутации с несколькими звеньями. Установление пути через коммутатор ПВП требует поиска блока пространственной коммутации, в котором разрешен доступ к записи в течение входящего канального интервала, а также доступ к считыванию в течение требуемого исходящего канального интервала. Если каждое отдельное звено (П-В-П) будет неблокирующимся, то данная операция будет функционально эквивалента поиску пути в трехзвенном пространственном коммутаторе.

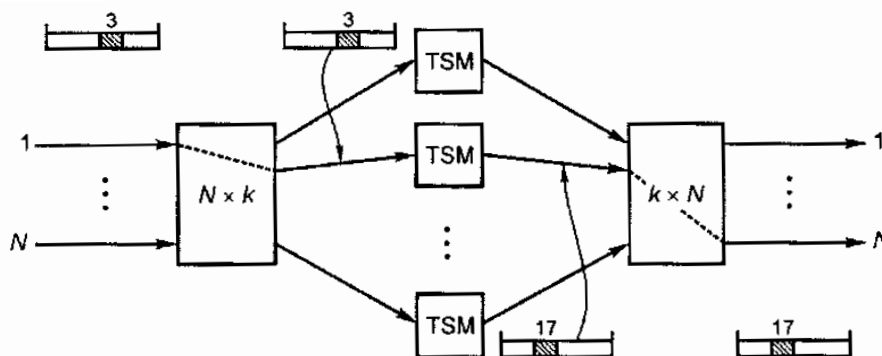


Рис. 4.2. Структура коммутатора П-В-П:

Следовательно, вероятностный граф на рис. 4.3 для коммутатора ПВП идентичен вероятностному графу на рис. 2.5 для трехзвенного пространственного коммутатора.

Соответственно вероятность блокировки коммутатора ПВП

$$B = (1 - q')^k, \quad (4.2)$$

где $q' = 1 - p' = 1 - p/\beta$, ($\beta = k/N$), k — число блоков временной коммутации в центральном звене.

Предполагая, что пространственные коммутаторы являются однозвенными коммутаторами и что каждая линия с ВРК содержит c каналов передачи сообщений, а также полагая наличие управления по выходу на первом звене и управления по входу — на третьем, определим сложность реализации коммутатора ПВП следующим образом:

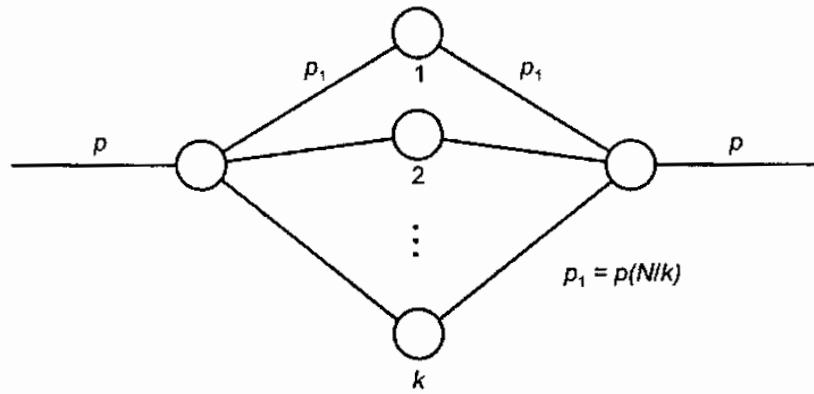


Рис. 4.3. Вероятностный граф коммутатора П-В-П с неблокирующими звеньями

$$\begin{aligned} \text{Сложность} &= (\text{число точек коммутации пространственного звена}) + +[(\text{число} \\ &\text{битов управления пространственного звена}) + +(\text{число битов памяти} \\ &\text{временного звена}) + (\text{число битов управления временного звена})]/100 = \\ &= 2kn + [2kc \log_2 N + 8kc + kc \log_2 c]/100 \dots \dots \dots (4.3) \end{aligned}$$

Если пространственные звенья управляются иным образом, результат также будет несколько иным.

Пример 4.2. Определить сложность реализации коммутатора П-В-П емкостью 2048 каналов, которые применяется для 16 линий с ВРК и 128 каналами каждая. Желаемая вероятность блокировки равна 0,002 при вероятности занятия канала, равной 0,1.

Решение. Минимальное число блоков временных коммутаторов центрального звена, необходимое для обеспечения заданного уровня обслуживания, может быть определено из выражения (4.2) как $k = 7$. Используя найденное значение k , можно определить число точек коммутации следующим образом: $2 \cdot 7 \cdot 16 = 224$. Требуемое число битов памяти можно определить как $2 \cdot 7 \cdot 128 \cdot 4 + 7 \cdot 128 \cdot 8 + 7 \cdot 128 \cdot 7 = 20608$. Таким образом, суммарная сложность реализации равна 430 эквивалентным точкам коммутации.

Сложность реализации, полученную в примере 4.2, нужно сравнить с числом точек коммутации, полученным для эквивалентного трехзвенного коммутатора, параметры которого приведены в табл. 2.2. Пространственный коммутатор требует 41 000 точек коммутации, в то время как схема ПВП лишь 430 эквивалентных точек коммутации. Такой удивительный эффект получается в результате того, что речевые сигналы были уже преобразованы в цифровую форму и мультиплексированы (для целей передачи). Когда цифровые коммутаторы впервые были использованы в аналоговом окружении, то преобладающая часть стоимости коммутатора приходилась на линейные комплекты сопряжения с линией. Цифровые интерфейсы стоят значительно меньше аналоговых интерфейсов, особенно в расчете на один канал.

ЗАДАЧА № 4.1.

Спроектируйте коммутатор ПВП для работы с 128 линиями с ВРК первичной

группы иерархии МСЭ-Т (30 речевых каналов на один вход). Вероятность блокировки должна быть меньше 0,002 при нагрузке на канал 0,2 Эрл. Сколько временных коммутаторов (модулей обмена канальных интервалов) потребуется? Какова сложность коммутатора?

ЗАДАЧА №4.2.

Вывести формулу (4.3), предполагая, что на первом звене введено управление по входу, а на третьем — по выходу.

ЗАДАЧА №4.3.

Используя условия задачи 4.1, определить, сколько потребуется временных коммутаторов и какова сложность коммутатора в предположении, что на первом звене введено управление по входу, а на третьем — по выходу.

4.5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Тема №5: Расчет сложности реализации коммутационной схемы типа ВПВ.

Вторая базовая форма реализации трёхзвенного коммутатора — коммутатор ВПВ — приведена на рис. 5.1.

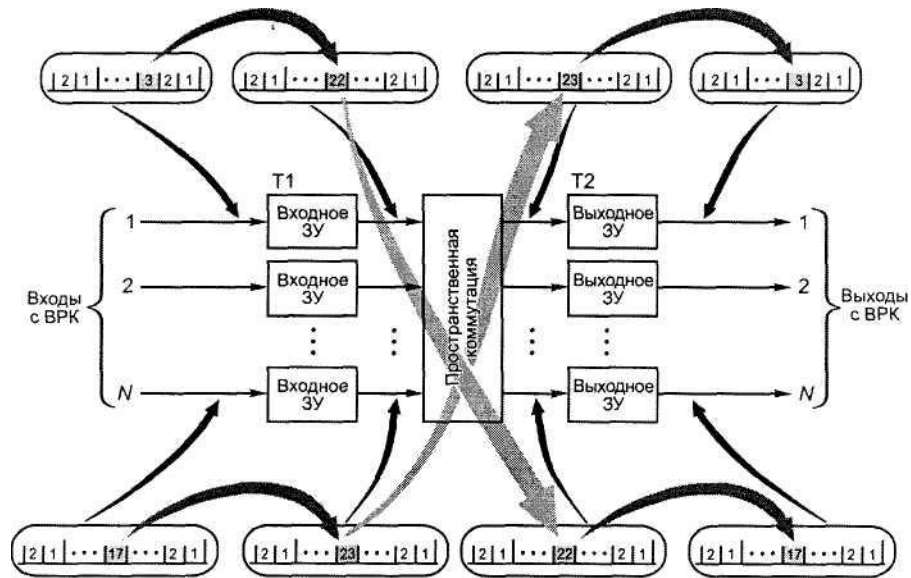


Рис. 5.1. Структурная схема коммутатора ВПВ

Предполагая, что на временных звеньях обеспечивается полнодоступность (т.е. все входящие каналы могут быть соединены со всеми исходящими), при установлении соединения в пространственном звене можно использовать любой канальный интервал. В функциональном смысле пространственное звено как бы копирует само себя один раз в каждый внутренний канальный интервал. Этот принцип иллюстрирует вероятностный граф схемы ВПВ, приведенный на рис. 5.2.

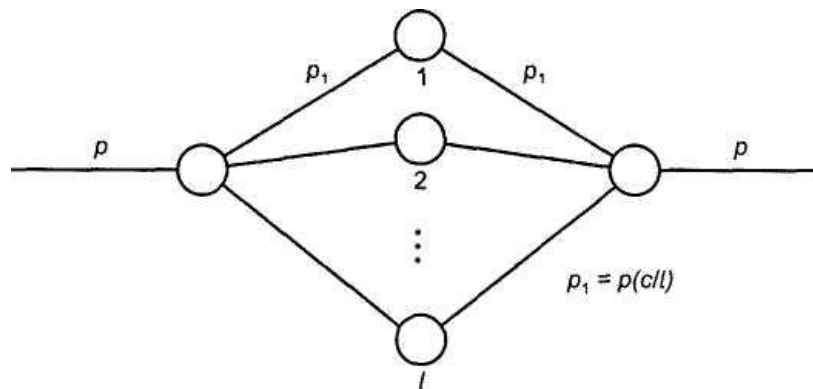


Рис. 5.2. Вероятностный граф коммутатора ВПВ с неблокирующими звеньями.

Следует обратить внимание на важное свойство коммутатора ВПВ, состоящее в том, что пространственное звено работает в режиме разделения времени независимо от внешних линий с ВРК. На самом деле, число канальных интервалов пространственного звена не обязательно должно совпадать с числом канальных интервалов с внешних линий с ВРК.

Если пространственное звено является неблокирующим, то блокировка в коммутаторе ПВП может возникнуть в тех случаях, когда нет свободных внутренних канальных интервалов пространственного звена, в течение которых промежуточная линия, ведущая от входного временного звена, и промежуточная линия, ведущая к выходному временному звену, одновременно свободны. Очевидно, что вероятность блокировки будет минимальной, если число канальных интервалов пространственного звена будет выбрано достаточно большим. Действительно, проводя прямую аналогию с трехзвенными пространственными коммутаторами, коммутатор ПВП можно считать неблокирующимся, если $\ell = 2c - 1$. Общее выражение для вероятности блокировки коммутатора ВПВ, отдельные звенья которого (В, П, В) неблокирующиеся, имеет вид

$$B = [1 - q_1^2]^\ell \quad (5.1)$$

где $q_1 = 1 - p_1 = 1 - p/a$; a — коэффициент канального расширения ($a = \ell/c$); ℓ — число канальных интервалов пространственного звена.

Сложность реализации коммутатора ВПВ можно рассчитать по следующей формуле:

$$\text{Сложность} = N^2 + (N\ell \log_2 N + 2Nc8 + 2N\ell \log_2 c) / 100. \quad (5.2)$$

Пример 5.1. Определить сложность реализации коммутатора ВПВ на 2048 каналов, используемого для передачи по 16 линиям с ВРК по 128 каналов каждая. Предположить, что желаемая вероятность блокировки 0,002, а вероятность занятия входящего канала равна 0,1.

Решение. Используя выражение (5.1), можно определить число внутренних канальных интервалов, требуемых для заданного уровня обслуживания, оно равно 25. Таким образом, концентрация $1/a = 5,12$, что возможно вследствие небольшой нагрузки входных каналов. Сложность реализации теперь можно рассчитать по выражению (5.2): она равна 656.

Результаты, полученные в примерах 4.2 и 5.1, показывают, что структура ВПВ более сложная, чем структура ПВП. Заметим, однако, что коммутатор ВПВ работает с временной концентрацией, а коммутатор ПВП — с пространственной концентрацией. По мере того как будет расти использование входящих линий, будет уменьшаться концентрация. Если нагрузка входящих каналов будет достаточно высокой, то для поддержания заданной вероятности блокировки в коммутаторах ВПВ необходимо вводить временное расширение, а в коммутаторах ПВП — пространственное.

Поскольку реализация временного расширения дешевле пространственного, то при высокой занятости каналов коммутатор ВПВ окажется более экономичным, чем коммутатор ПВП. На рис. 5.3 приведены сложности этих систем в зависимости от коэффициента использования входящих каналов.

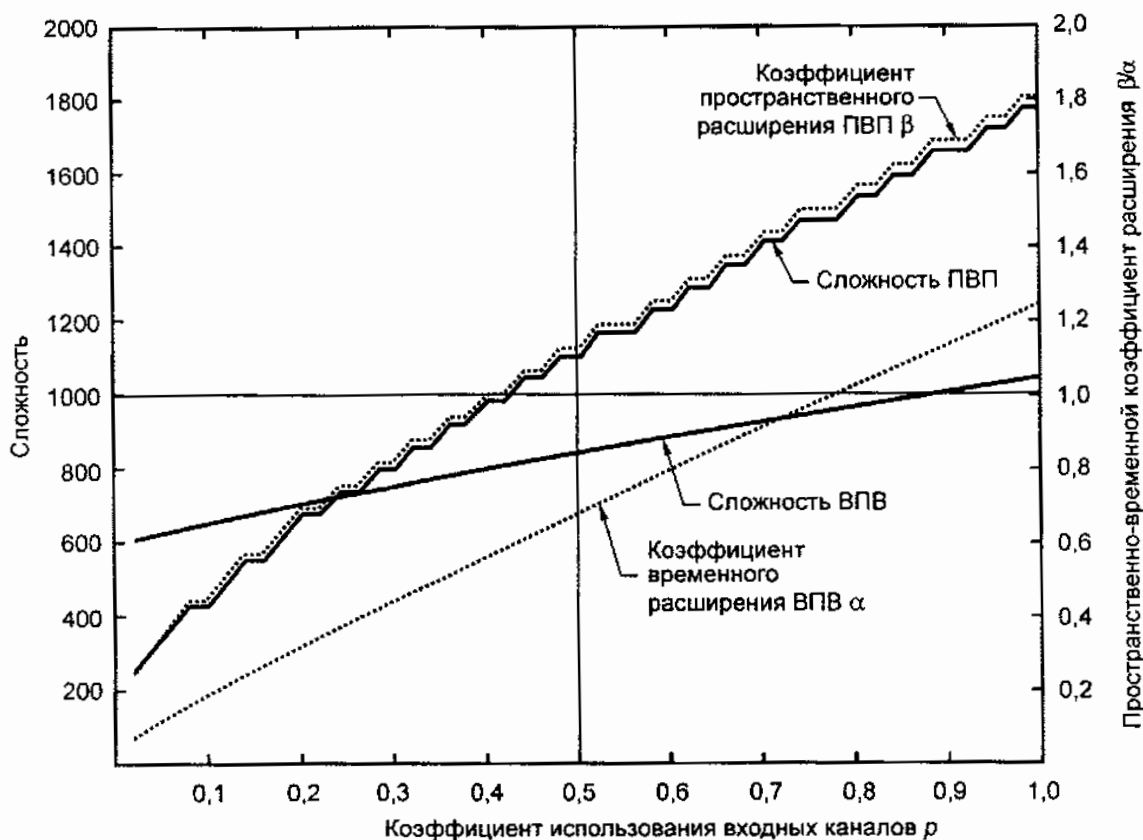


Рис. 5. 3. Сравнение сложности структур коммутаторов ПВП и ВПВ для вероятности блокировки 0,002.

Как видно из рис. 5.3, коммутаторы ВПВ имеют явное преимущество перед коммутаторами ПВП в области больших объемов нагрузки. Для коммутаторов малой емкости более предпочтительной оказывается структура ПВП. Выбор конкретной структуры может зависеть и от других факторов, таких, как модульность, простота тестирования, расширяемость. Обычно отдают предпочтение структуре ПВП как имеющей относительно простые требования к управлению [1].

Для коммутаторов большой емкости с интенсивным трафиком преимущества коммутаторов ВПВ становятся доминирующими. В подтверждение этого утверждения можно привести систему № 4 ESS со структурой ВПВ, разработанную в 1976 г. для обслуживания 100000 речевых каналов.

ЗАДАЧА №5.1.

Коммутатор ВП, изображенный на рис. 4.1, использует сигналы DS1 на каждой линии с ВРК. Какова будет сложность реализации, если группы из 5 входов DS1 мультиплексируются в 16 входных линий со 120 каналами в каждой?

$$\text{Сложность} = N_x + (N_{BX} + N_{BTC}/100), \quad (5.3)$$

где $N_x = 2Nk + k(N/n)^2$ — число точек коммутации; $N_{BX} = 2k(N/n)\ell \log_2(n) + k(N/n)\ell \log_2(N/n)$ — число битов управляющей памяти пространственного звена;

$N_{BT} = 2Nc8$ — число битов временного звена; $N_{BTC} = 2N\ell \log_2 c$ — число битов управляющей памяти временного звена.

Вероятностный граф коммутатора ВПППВ представлен на рис. 5.5. Заметим, что этот граф идентичен вероятностному графу пятизвенного пространственного коммутатора, показанного на рис. 2.3. Используя вероятностный граф на рис. 5.5, можно определить вероятность блокировки коммутатора ВПППВ:

$$B = \{1 - (q_1)^2 [1 - (1 - q_2^2)^k]\}^\ell \quad (5.4)$$

где $q_1 = 1 - p_1 = 1 - p/\alpha$; $q_2 = 1 - p_2 = 1 - \beta p/\alpha$.

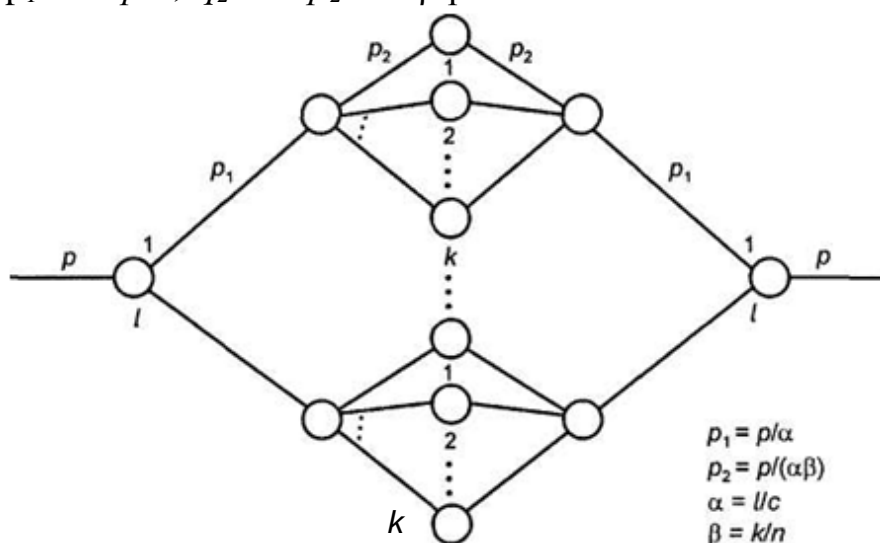


Рис. 5.5. Вероятностный граф коммутатора ВПППВ

Пример 5.2. Определить сложность реализации коммутатора ВПППВ емкостью 131072 каналов, который спроектирован в расчете на максимальную вероятность блокировки 0,002 при вероятности занятия канала 0,7. Принять, что коммутатор обслуживает 1024 входящих линий с ВРК по 128 каналов в каждой. Кроме того, считать, что на пространственных звеньях применяется временное расширение. Предполагается, что управление выполняется позвенно — по выходу, по выходу, по выходу, по входу и по входу соответственно.

Решение. Пространственный коммутатор может быть спроектирован разным способом в зависимости от того, сколько линий подключается к каждому коммутатору первого (трехзвенного) звена. Число 32 выберем как удобное для расчетов двоичное число, близкое к теоретическому оптимуму, о котором уже говорилось ранее, $(N/2)^{1/2}$. Если известно n , то в выражении (5.4) остается лишь одно неизвестное — число коммутаторов центрального звена k , которое примем равным 27 для вероятности блокировки 0,0015. Сложность реализации определим по (5.3) следующим образом:

$$N_x = 2 \times 1024 \times 27 + 27 \times 32^2 = 82944;$$

$$N_{BX} = 2 \times 27 \times 32 \times 128 \times 5 + 27 \times 32 \times 128 \times 5 = 1658880;$$

$$N_{BT} = 2 \times 1024 \times 128 \times 8 = 2097152;$$

$$N_{BTC} = 2 \times 1024 \times 128 \times 7 = 1835008;$$

$$82944 + 5591040/100 = 138854 \text{ эквивалентных точек коммутации.}$$

ЗАДАЧА №5.5

Преобразовать формулы (5.3, 5.4), предполагая, что на всех звеньях введено управление по выходу.

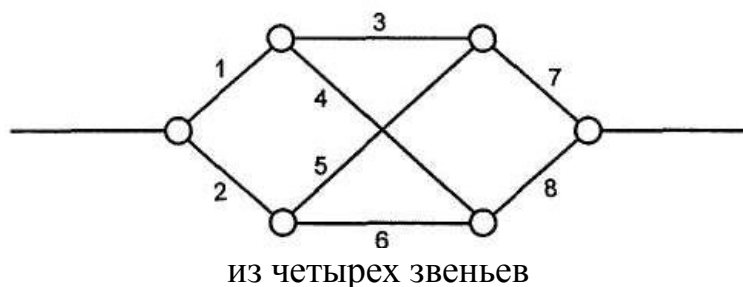
4.6. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

Тема № 6. Расчет сложности реализации коммутационной схемы типа ВППВ. Междугородные коммутаторы № 4 ESS.

Вероятность блокировки пространственного коммутатора № 4 ESS

Большинство прямых способов расчета вероятности блокировки четырехзвенных пространственных структур, показанных в виде вероятностного графа на рис. 6.1, заключаются в перечислении всех элементарных взаимоисключающих вероятностных комбинаций путей, определении вероятности их возникновения и суммировании тех из них, которые вызывают блокировки.

Рис. 6.1. Граф вероятностей пространственного коммутатора № 4 ESS



Поскольку имеются восемь линий, которые, по предположению, заняты или свободны, всего есть $2^8 = 256$ элементарных комбинаций. Вместо того чтобы трудолюбиво перечислить их все, анализ может быть значительно упрощен, правда, с некоторым риском неправильно подсчитать блокирующие комбинации, с помощью их группировки по числу занятых линий. Следующая таблица содержит группы и соответствующее им число комбинаций, которые блокируют или не блокируют путь.

Таблица 6.1

Число занятых линий j	Комбинации C	Число блокирующих комбинаций	Число неблокирующих комбинаций
0	1	0	1
1	8	0	8
2	28	2	26
3	56	16	40
4	70	50	20
5	56	52	4
6	28	28	0
7	8	8	0
8	1	1	0
Всего	256	157	99

Данные последних двух столбцов определены с помощью анализа топологии графа. Например, когда заняты две линии, только 2 из 28

комбинаций вызывают блокировку (1 и 2, а также 7 и 8). Когда заняты три линии, 16 комбинаций вызывают блокировку. Чтобы определить оставшиеся данные в столбце 3, проще определить число комбинаций, которые не приводят к блокировкам, и вычесть их из общего числа. Например, когда только три линии свободны, имеется 40 из 56 комбинаций, которые не приводят к блокировке. Используя данные третьего столбца, определяем вероятность блокировки

$$B = 2p^2q^6 + 16p^3q^5 + 50p^4q^4 + 52p^5q^3 + 28p^6q^2 + 8p^7q + p^8, \dots\dots\dots(6.1)$$

где p — вероятность того, что линии заняты, а $q = (1-p)$ — вероятность того, что свободны. Все межзвеньевые линии загружены одинаково, поскольку между звеньями нет ни концентрации, ни сжатия.

Как показано на рис. 6.2, базовая конфигурация № 4 ESS имеет вид матрицы время — пространство — время с четырьмя пространственными звеньями (ВПППВ). К входам матрицы подведены 120-канальные линии с ВРК, сформированные мультиплексированием пяти сигналов DS1. До подключения этих входных линий к матрице они проходят через декоррелятор с целью распределения каналов входящего пучка линий с ВРК через несколько промежуточных линий с ВРК на входы матрицы. Декорреляция используется, поскольку станция № 4 ESS является междугородным коммутатором, в котором входящие линии с ВРК представляют собой пучки линий от других коммутаторов. В отличие от линий с ВРК от оконечных офисных коммутаторов, сформированных мультиплексированием каналов независимых абонентов, каналы пучка линий с ВРК не занимают независимо. В действительности концентрация множества независимых источников в пучок линий приводит к концентрации высокого уровня между периодами активности отдельных каналов. Если каналы пучка линий не будут декоррелированы, то вероятность блокировки будет значительно выше, поскольку все они будут направлены через одни и те же пути через матрицу. Декорреляция разбивает пучки линий таким образом, что альтернативные пути, доступные для каждого конкретного соединения, являются статистически независимыми. Следует помнить, что помимо перемешивания каналов декоррелятор обеспечивает пространственное расширение (7 к 8) и временное расширение (120 к 128).

В станции № 4 ESS максимальной емкости используется 128 декорреляторов с семью 120-канальными входами каждый. Таким образом, максимальная канальная емкость составляет $128 \cdot 7 \cdot 120 = 107520$ каналов. Пространственное звено представляет собой матрицу $1024 \cdot 1024$ с четырьмя альтернативными путями, предоставляемыми в течение каждого канального интервала каждого из 128 пространственных звеньев. Вероятностный граф для коммутатора № 4 ESS изображен на рис. 6.3, из которого следует вывод вероятности блокировки:

$$B = [1 - (1-p_1)(1-p_2)(1-p_3)]^{128}, \quad (6.2)$$

где $p_1=(7/8)(120/128)p$ — коэффициент внешнего использования канала; p_2 — вероятность блокировки четырехзвенного пространственного коммутатора (6.1):

$$p_2 = 2p_1^2q_1^6 + 16p_1^3q_1^5 + 50p_1^4q_1^4 + 52p_1^5q_1^3 + 28p_1^6q_1^2 + 8p_1^7q_1 + p_1^8. \quad (6.3)$$

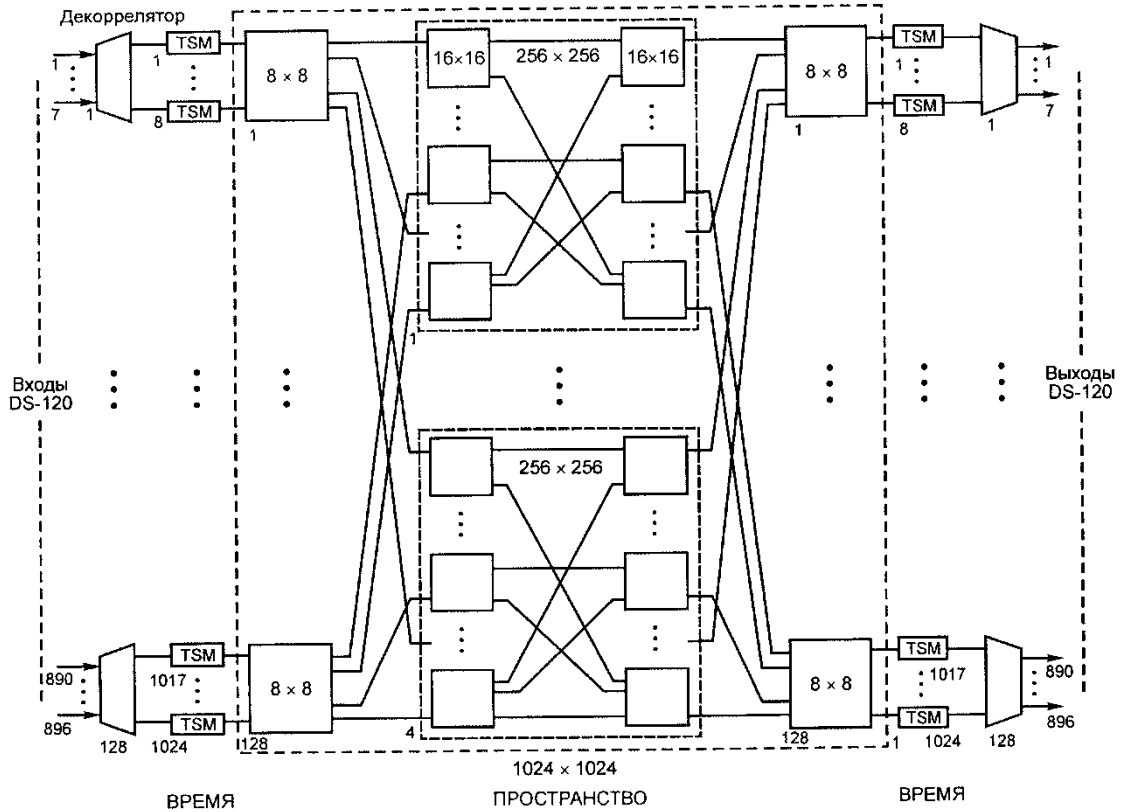


Рис. 6.2. Архитектура коммутационной матрицы № 4 ESS

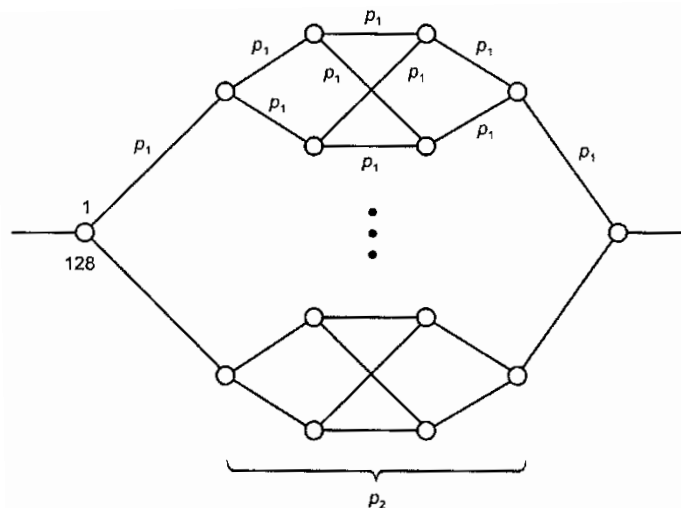


Рис. 6.3. Вероятностный граф для коммутационной матрицы № 4 ESS

Пример 6.1. Определить вероятность блокировки для коммутатора № 4 ESS с коэффициентом занятия входных каналов, равным 0,7 и 0,9.

Решение. Коэффициент занятия промежуточных линий (p_{21}) определен как 0,574 и 0,738 соответственно. Согласно (6.3), соответствующие значения p_2 определяются равными 0,737 и 0,934. Теперь выражение (6.2) может быть использовано для определения вероятности блокировки: 0,0002 и 0,56 для значений коэффициента занятия входных каналов, равных 0,7 и 0,9 соответственно.

В примере 6.1 показано, что низкая вероятность блокировки может быть достигнута даже в том случае, когда отдельные пути сильно загружены, но достаточно много альтернативных путей, — особенность, имеющая большую практическую ценность для коммутации с временным разделением.

4.7. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

Тема № VI. Поиск свободного пути в коммутационном поле многоступенчатого коммутатора.

Поиск пути через однозвенный коммутатор происходит, по существу, автоматически, поскольку необходимая точка коммутации однозначно определяет пару вход-выход, через которую будет установлено соединение. В противоположность этому наличие нескольких путей в многозвенном коммутаторе усложняет процесс выбора пути. Процессор вызовов коммутатора должен постоянно запоминать в памяти состояний, какой из нескольких потенциальных путей для данного соединения доступен. Процедура поиска пути обрабатывает информацию в памяти состояний с целью выбора доступного пути. Всякий раз, когда устанавливается новое соединение или освобождается старое, память состояний обновляется и дополняется соответствующей информацией.

Время поиска пути.

Операции поиска пути связаны с запросом занятия общего оборудования и, следовательно, необходимо рассчитать время, за которое будет обработан запрос на соединение. Время, требуемое для поиска доступного пути, непосредственно зависит от того, сколько потенциальных путей будет проверено прежде, чем будет найден свободный путь. В некоторых системах параллельно могут проверяться несколько путей, что, очевидно, сокращает время обработки. Поскольку ожидаемое число потенциальных путей, которые необходимо проверить до нахождения свободного пути, зависит от того, как используются промежуточные линии, время поиска пути, к сожалению, увеличивается, если оборудование общего управления оказывается более загруженным.

Предположим, что все пути через коммутатор занимают независимо с вероятностью p . Пусть вероятность того, что путь не занят, обозначается как $q = 1 - p$. Вероятность p , того, что перед этим было проверено ровно i путей перед тем, как будет найден свободный путь, равна вероятности того, что первые $(i-1)$ путей заняты, а i -й путь свободен:

$$P_i = p^{i-1} q$$

Ожидаемое число путей, проверенных перед тем, как будет найден свободный путь,

$$N_p = 1q + 2pq + 3p^2q + \dots + kp^{k-1}q + kp^k,$$

где последний член представляет ситуацию, когда все возможные k путей недоступны. Окончательная формула для N_p определяется как

$$\begin{aligned} N_p &= (1-p)(1 + 2p + 3p^2 + \dots + kp^{k-1} + kp^k) = \\ &= (1-p)(1 + 2p + 3p^2 + \dots + kp^{k-1} + kp^k) = \\ &= 1/(1-p) - p^k/(1-p) = (1-p^k)/(1-p). \end{aligned}$$

Таким образом, если каждый из k возможных путей через коммутатор будет занят с одинаковой и независимой вероятностью, то ожидаемое число путей N_p ,

которое необходимо проверить прежде, чем будет найден свободный путь, выражается следующей формулой:

$$N_p = (1-p^k)/(1-p) \dots \dots \dots (7.1)$$

Пример 7.1.

Чему равно ожидаемое число потенциальных путей, которые должны быть проверены прежде, чем будет найден свободный путь, в трехступенчатом коммутаторе на 8192 входа, описанном в табл. 2.2?

Решение. Как показано в таблице, при коэффициенте расширения 0,234 вероятность блокировки равна 0,002. Следовательно, каждая промежуточная линия используется с коэффициентом $0,1/0,234 = 0,427$. Вероятность блокировки каждого пути через коммутатор просто равна вероятности того, что одна или две линии подряд заняты. Таким образом, вероятность $p = 1 - (1 - 0,427)^2 = 0,672$, и тогда ожидаемое число проверяемых путей

$$N_p = [1 - (0,672)^{15}] / (1 - 0,672) = 3,04.$$

Пример 7.1 показывает, что в среднем необходимо проверить только три из 15 потенциальных путей до нахождения свободного пути. Однако, если коммутатор загружен в большей степени, чем при обычной нагрузке, то среднее число проверяемых путей возрастает. Например, если использование входящей линии возрастает с 10 до 15 %, то вероятность блокировки возрастает с 0,002 до 0,126, а ожидаемое число путей, которые следует проверить при поиске пути, возрастает с 3 до 4,9.

Однако данный простой пример поиска пути сам по себе не имеет практического значения, но он демонстрирует очень важный аспект загрузки общего оборудования в коммутационной системе (или сети в целом): линейное увеличение поступающей нагрузки приводит к геометрическому возрастанию загрузки сетевых ресурсов. Если система спроектирована и рассчитана при номинальных условиях нагрузки и эти результаты экстраполируются для нахождения общей пропускной способности, то часто получается оптимистическая оценка. В примере поиска пути требования к времени обработки возрастают, только когда процессор вызовов (управление по записанной программе) уже загружен с большим, чем среднее значение, объемом нагрузки. Дальнейшее изучение влияния интенсивности нагрузки на оборудование коммутационных систем представлено в [2].

Пример 7.2. Определить число путей для коммутатора № 4 ESS с коэффициентом занятия входных каналов, равным 0,7 и 0,9.

Решение.

Вероятность того, что все четыре пути заняты в течение канального интервала, равна $1 - q_1 q_2 q_3$, [основные переменные в формуле (6.2)] и имеет значения 0,952 для $p = 0,7$ и 0,9955 для $p = 0,9$. Далее по формуле (7.1) определим среднее число канальных интервалов (четыре пути на канальный интервал), которые должны быть проверены для поиска свободного пути. Они равны 21 и 98 соответственно.

Пример демонстрирует чувствительность времени обработки вызовов как функции нагрузки к времени поиска пути, которое не должно увеличиваться более чем в четыре раза, когда узел приходит в состояние перегрузки. Время поиска пути составляет всего 12% общего времени обработки вызова при $p=0,7$, но в данном примере показано также, что оно может превышать 50 % при нагрузке $p = 0,9$, если другие характеристики процесса обработки вызова линейно зависят от объема трафика (рискованное предположение).

ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровая телефония : Пер. с англ. / Дж. К. Беллами; Ред. пер. А. Н. Берлин, Ред. пер. Ю. Н. Чернышов. - 3-е изд. - М. : Эко-Трендз, 2004. - 640 с. : ил. - (Библиотека МТС). - Предм. указ.: с. 612-618. -Библиогр.: с. 619-639. - ISBN 5-88405-059-3 : (21 экз).
2. Винокуров В.М. Сети связи и системы коммутации: учеб. пособие /Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, ISBN 5-86889-215-1, 2006. – 304 с.(190 экз)
3. Винокуров В.М. Сети связи и системы коммутации. [Электронный ресурс]: учеб. пособие /Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, ISBN 5-86889-215-1, 2012. – 304 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/694>.